علم المعادن

دكتور محمد عز الدين حلمى



مكتبة الأنجلو المصرية

بسم الله الرحمن الرحيم

« فأمَّا الزَّبَدُ فَيَذْهَبُ جفاءً

وَأَمَّا ماَ يَنْفَعُ النَاسَ فَيَمْكُثُ فِى الأَرْضِ »

صدق الله العظيم

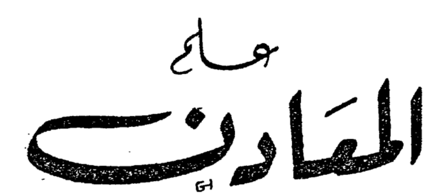
علم المعادن

إلى

ن . ب

المؤلف

تخرج الدكتور محمد عز الدين حلمي من جامعة القاهرة وحصل على بكالوريس العلوم الدرجة الخاصة في الجيولوجيا بمرتبة الشرف عام ١٩٤٤ ، ثم سافر في بعثة إلى أمريكا حيث حصل على ماجستير العلوم في الجيولوجيا من جامعة شيكاغو عام ١٩٤٩ وعلى درجة دكتوراه الفلسفة في علم المعادن (المنرالوجيا) من جامعة ميشيجان عام ١٩٥٢ ، ثم تدرج في هيئة التدريس بجامعتي الإسكندرية وعين شمس حتى عين استاذا لكرسي المعادن والصخور بجامعة عين شمس في يناير ١٩٦٦ . ثم أعير رئيسا لقسم الجيولوجيا الذى أنشأه بجامعة الكويت في الفترة من سبتمبر ١٩٦٦ حتى أغسطس ١٩٧٠ . ثم عين رئيسا لقسم الجيولوجيا بجامعة عين شمس عام ١٩٧٠ ، ثم وكيلا لكلية العلوم للدراسات العليا والبحوث عام ١٩٧٢ حتى ١٩٧٥ ، ثم استاذاً زائرا بمعهد الجيولوجيا التطبيقية بجامعة الملك عبد العزيز بجدة . والمؤلف حاصل على جائزة الدولة التشجيعية في الجيولوجيا عام ١٩٦١ ووسام العلوم والفنون من الدرجة الأولى وهو عضو في الجمعية الجيولوجية المصرية وجمعية علم المعادن الأمريكية والأكاديمية المصرية للعلوم والاتحاد الدولي لعلم المعادن .



تأليف

دكتور

محمد عز الدين حلمي

أستاذ المعادن والجيولوجيا الاقتصادية
بكلية العلوم جامعة عين شمس

الطبعة السابعة

٢٠٠٢



مكتبة الأنجلو المصرية

أسم الكتــاب: عــلم المعــادن
أسم المؤلف: د/ محمد عز الدين حلمي
أسم الناشر: مكتبة الانجلو المصرية
أسم الطــابع: مطبعة محمد عبد الكريم حسان
رقــم الايــداع: ١٠٥٩
الترقيم الدولي: I-S-B-N 977-05-1238-9

مقدمة التحريره الاولى

فى نوفبر عام ١٩٥٨ ، نشرت « علم المعادن » فى هيئة كتيب من ٢٨٦ صفحة ، مطبوعا بالميميوجراف ، وقدمت له بالمقدمة التالية :

« بعد مضى أكثر من ثلاثين عاما على إنشاء أول كلية للعلوم بالجمهورية العربية المتحدة والدراسة فيها باللغة الإنجليزية . وبعد ما يقرب من خمسة عشر عاما خبرة فى تدريس علم المعادن باللغة الإنجليزية أيضاً ، أقدم إلى طلبة المعادن أول مرجع جامعى باللغة العربية فى « علم المعادن » .

وإنها لمحاولة أولى سوف أتبعها بإذن الله بمحاولات أخرى للتحسين . فمعظم المصطلحات جديدة ، ولأول مرة أقدم فى هذا المرجع أكثر من ٥٠٠ مصطلح جديد باللغة العربية فى البلورات والمعادن .

وإنى أقدم فى « علم المعادن » المعلومات الأساسية فى دراسة هذا العلم الحيوى فى هذا العصر الذى نعيش فيه ، والذى يحق لنا أن نطلق عليه اسم عصر المعادن ومنها المعادن الذرية ذات القيمة الإقتصادية العظمى. والمعادن هى تلك الوحدات المتجانسة التى تكون جزءاً هاما من الأرض . ولها خواصها المميزة التى تفرقها عن غيرها . فمن خواص بلورية إلى فيزيائية إلى كيميائية إلى بنائية . فإذا نحن إنتهينا من دراسة هذه الخواص تابعنا الحديث بعمق لمعرفة شىء عن نشأة المعادن وكيف توجد فى الطبيعة . وننهى الحديث فى « علم المعادن » بدراسة كل مجموعة معدنية وما يمثلها من معادن مختلفة على حدة — خواصها ونشأتها وفوائدها . ثم كيف نتعرف على هذه المعادن إذا صادفتنا فى حياتنا مستعينين بما عرفنا فى أول الحديث عن خواصها المختلفة .

والمعلومات التى أوردتها فى هذا المرجع هى نتيجه دراسة وعلم على يد أساتذة المعادن الذين تتلمذت لهم ، ونتيجة إطلاع وبحث على يد أساتذة المعادن الذين قرأت لهم فى مراجعهم والدوريات التى نشرت أبحاثهم ، ونتيجة للخبرة التى اكتسبتها من تدريس علم المعادن لطلبتى بجامعة الاسكندرية .

فإلى هؤلاء جميعاً أقدم جزيل الشكر .

والله أسأل أن يوفقنى إلى أداء رسالتى فى المعادن على الوجه الذى يرضيه .

الاسكندرية فى ٣٠ نوفبر سنة ١٩٥٨ » م . ع . ح .

والآن وبعد مضى ثلاث سنوات تقريباً رأيت أن أقوم بنشر « علم المعادن » مطبوعا، وذلك بعد أن أدخلت عليه تعديلات عديدة، بعضها مرتبط بالمصطلحات العلمية ، والبعض الآخر نتيجة للخبرة التى لمستها أثناء إستعمال الطبعة الأولى بالميميوجراف كمرجع لطلبة المرحلة الأولى بالجامعات العربية الذين يدرسون علم المعادن . ويمكن أن نقول أننا حررنا « علم المعادن » مرة ثانية .

وفى هذه التحريرة الجديدة « لعلم المعادن » إزداد الاهتمام بالنواحى الكيميائية البلورية للمعادن . فقد أصبحت الدراسات الكيميائية البلورية للمعادن من الابحاث الأساسية فى هذا العلم . وأصبحت نتائجها فى غاية الأهمية بالنسبة للتعرف على كثير من خواص المعادن ، وتفسير المشاكل العلمية الناتجة عن هذه الخواص ، مثل التشابه الشكلى والمحاليل الجامدة وغيرها من العلاقات التى تربط المعادن بعضها ببعض ، وتعطى صورة كاملة واضحة لطبيعة المعادن .

وقد قسم الكتاب إلى أجزاء ثلاثة : الجزء الأول يختص بدراسة خواص المعادن ، والجزء الثانى يختص بوصف المعـــادن الشائعة مصنفة تبعاً لخواصها الكيميائية البلورية وفوائدها ، ويشمل هذا الجزء بابا جديداً بعنوان « المعادن فى الصناعة » عولج فيه موضوع المعادن من ناحية إستعمالات خاماتها فى الصناعات المختلفة ، وصنفت فيه تبعاً لهذه الإستعمالات إلى (١) معادن خامات الفلزات ، (٢) معادن الحراريات ، (٣) معادن الصنفرة ، (٤) معادن الخزف والزجاج والمينا ، (٥) معادن الصهر ، (٦) معادن المخصبات ، (٧) معادن الأجهزة البصرية والعلمية ، (٨) معادن الزينة ، (٩) معادن الأحجار الكريمة ، (١٠) معادن تستعمل فى صناعات أخرى . أما الجزء الثالث فيختص بالتعرف على المعادن فى العينات اليدوية بالاستفادة من خواصها الفيزيائية ، ويتم ذلك عن طريق الجداول المنظمة لطريقة التعرف على المعدن .

ولقد أعيد رسم جميع الأشكال التوضيحية وزيد عليها حتى تتمشى مع التعديلات والإضافات التى استحدثت فى هذه التحريرة الجديدة .

والله أسأل أن يوفقنى إلى أداء رسالتى فى علم المعادن على الوجه الذى يرضيه ؟

أكتوبر ١٩٦١

محمد عز الدين حلمى
جامعة عين شمس

موضوعات الكتاب

الجزء الأول

خواص المعادن

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الجزء الثانى

وصف المعادن الشائعة

وفوائدها الاقتصادية

الصفحة

الجزء الثالث

جداول التعرف على المعادن

الجزء الاول

خواص المعادن

الباب الأول

تعريف عام

علم المعادن

يختص علم المعادن Mineralogy بدراسة تلك المواد المتجانسة التي توجد في الطبيعة وتتكون بواسطتها مثل الألماس والذهب والتي نعرفها باسم المعادن Minerals. لقد استرعت المعادن إنتباه الإنسان منذ قديم الزمن. حيث ساهمت في بناء حضارته المتطورة بصورة أو أخرى. إننا نجد في آثار قدماء المصريين (منذ ٥٠٠٠ سنة) مايدلنا على أنهم فتحوا مناجم الذهب حيث استخلصوا هذا المعدن النفيس من العروق الحاملة له. ويوجد في الصحراء الشرقية بجمهورية مصر العربية أكثر من ٤٠ منجما فتحها القدماء واستخرجوا منها الذهب الذى صنعوا منه التماثيل والحلى. وكذلك استعملوا مغرة الحديد الحمراء (معدن الهيماتيت Hematite Fe_2O_3) في طلاء مقابرهم، كما استخلصوا النحاس من معادن النحاس الخضراء والزرقاء التي استرعت إنتباههم في شبه جزيرة سيناء (حيث يوجد بقايا أول فرن في العالم لصهر خامات النحاس)، ومن النحاس صنعوا الأدوات المختلفة. ولم يقف القدماء عند هذا الحد، بل ساحوا في الصحراء بحثاً وراء الأحجار الكريمة، وهي معادن نادرة جذابة (منها الأخضر مثل الزمرد Emerald، والملاكيت Malachite، والفيروز Turquois، واللابيز Lapis) واستعملوها في صناعة عقودهم وزينتهم، ومنذ ذلك التاريخ والمعادن تسهم بنصيب كبير في نمو الحضارة، حتى أن كل عصر كان يعرف باسم المعدن الشائع فيه، فكان عصر الحديد، وعصر النحاس، حتى عصرنا الحاضر، عصر الذرة، حيث يستخلص الانسان عنصر اليورانيوم من معادن اليورانيوم المختلفة ليستعمله في إنتاج الطاقة الذرية.

وبالرغم من إعتماد الانسان منذ القدم إعتمادا كلياً على المعادن في صناعة أسلحته، ووسائل راحته، وزينته، وعموما في ضرورياته. فإنه من المدهش

حقاً أن نجد عدداً كبيراً من الناس لديهم فقط فكرة غير واضحة عن طبيعة المعادن ، وأن هناك علما متخصصا فى دراستها ومتعمقا فى أبحاثها .

إن صخور الجبال ، ورمال الشواطىء ، وتربة الحديقة يتكون معظمها أو جزء كبير منها من المعادن . كذلك فإن جميع المنتجات التجارية غير العضوية التى نتداولها فى حياتنا اليومية إما أن تكون عبارة عن معادن أو صنعت من مواد معدنية، فمواد البناء ، والصلب ، والاسمنت ، والزجاج - على سبيل المثال لا الحصر - نحصل عليها من المعادن .

علم المعادن عند العرب :

يعتبر ابن سينا (هو أبو على الحسين بن عبد الله ابن سينا المتوفى عام ٤٢٨ هجرية / ١٠٤٩ ميلاديه) وهو المؤسس الرئيسى لعلم الأرض (الجيولوجيا) أول من درس المعادن دراسة علمية فقد قسمها إلى أقسام أربعة هى : الأحجار والذائبات والكباريت (أو الكبريتيدات) والأملاح (أو المتبخرات) . ويأتى بعده العالم العبقرى العربى البيرونى (هو أبو الريحان محمد بن أحمد البيرونى المتوفى بغزنة بالهند عام ٤٤٠ هجرية / ١٠٦١ ميلادية) ويعتبر كتابه « الجماهر فى معرفة الجواهر » أروع ما كتبه العرب فى علم المعادن ، فبالاضافة إلى العدد الكبير من المعادن والأحجار الكريمة والفلزات التى وصفها العالم الفذ، فان البيرونى فرق بين المعادن Minerals والفلزات Metals . ويأتى بعد البيرونى العالم التيفاشى (هو شهاب الدين أبو العباس أحمد بن يوسف التيفاشى القيسى المتوفى بالقاهرة عام ٦٥١ هجرية/ ١٢٧١ ميلادية) الذى نهج منهجا علميا فى وصف المعادن والأحجار الكريمة فى كتابة « أزهار الأفكار فى جواهر الأحجار » فوصف كل معدن وحجر كريم بالنسبة لجيده ورديئه ، خواصه ومنافعه، قيمته وثمنه ، ثم تكون الحجر من المعادن . ويأتى بعده ابن الأكفانى (هو محمد بن ابراهيم بن ساعد السنجارى المعروف بابن الأكفانى المتوفى بالقاهرة عام ٧٤٩ هجرية /١٣٦٩ ميلادية) الذى ألف كتاب « نخب الذخائر فى أحوال الجواهر» وقدم فيه وصفا لأربعة عشر حجراً من الأحجار الكريمة والمعادن .

إن العرب فى الحقيقة هم أول من درسوا المعادن دراسة علمية وقدموا فى مؤلفاتهم الأسس العلمية الأولية لعلم المعادن. لقد وصفوا المعادن بالنسبة لخواصها

البلورية وخواصها الطبيعية (اللون ، الشفافية ، المخدش أو المحك) والوزن النوعى (الثقل النوعى) والاختبارات الكيميائية ونشأة المعادن وأسمائها .

علاقة علم المعادن بالعلوم الطبيعية الأخرى :

عموما يمكننا أن نرتب العلوم التى تبحث فى الموضوعات الطبيعية غير العضوية — على أساس أصغر وحدة تختص الدراسات فيها إختصاصاً مباشراً — ترتيباً متسلسلا . فأصغر الوحدات فى علم الفيزياء هى الاليكترون والنيوترون وغيرهما . أما بالنسبة للكيميائى فأصغر وحدة يهتم بها اهتماما مباشرا هى الذرة ، وهو يهتم بالاليكترونات فقط عندما تؤثر على الذرات . وبطريقة مشابهة يهتم عالم المعادن بصفة أساسية بالوحدة البنائية (خلية الوحدة unit cell) وهى تمثل أصغر مجموعة من الذرات (أو الايونات) التى تبين البناء الكامل لبلورة المعدن ، وهو يخص الذرات باهتمامه فقط عندما يؤدى ترتيبها فى صور متباينة إلى تكوين أنواع مختلفة من البلورات والمعادن . ويعتبر الصخر (الذى يتكون من جمع من المعادن) أصغر وحدة يهتم بها الجيولوجى إهتماماً مباشراً ، وعندما يهتم بالمعادن فإن ذلك ينصب على مدى ما تسببه المعادن من تغيير فى طبيعة الصخر . أما بالنسبة للفلكى فان أصغر وحدة فى دراساته هى النجم أو الكوكب ، مثل كوكب « الأرض » ، التى هى عبارة عن خليط من صخور عدة . وفى هذا الترتيب المتسلسل نجد أن علم المعادن يحتل المكان الأوسط . فوحدة الفلكى أكبر بمراحل من وحدة عالم المعادن ، تماماً كما تكبر هذه الوحدة الاخيرة إذا قورنت بوحدة الفيزيائى . ولكنها حقيقة أساسية أيضـاً أن مجالات التخصص فى العلوم المختلفة لا تفصلها حدود رأسية ، إنما تتخطى بعضها بعضاً ، تخطيا يزداد كلما نمت العلوم وازدادت المعرفة . وعلى سبيل المثال ، بدأ علم الفلك بدراسة النجوم والكواكب ،ولكنه الآن يضم الأبحاث الطيفية للتعرف على العناصر الموجودة فى الشمس وغيرها من النجوم . وكذلك يتخصص عالم المعادن أساساً فى دراسة المعادن ، ولكن نظراً لأن هذه المعادن توجد فى هيئة بلورات ، فانه يكون لزاما عليه — لكى يتفهم طبيعة هذه البلورات — أن يقوم بدراسة الذرات والأيونات وكذلك الاليكترونات ويحيط بها علما .

التركيب الكيميائي للقشرة الأرضية:

قام الجيولوجيون بجمع عينات كثيرة لأنواع مختلفة من الصخور ، ومن مناطق متعددة على سطح الأرض . ثم قاموا بعد ذلك بتحليلها بغية الوصول إلى معرفة تركيبها الكيميائي ، ومن هذه التحاليل توصلوا إلى معرفة متوسط التركيب الكيميائي للجزء الخارجي من الغلاف اليابس lithosphere للكرة الأرضية كما هو مبين فى الجدول رقم (١) .

التركيب فى صور عناصر			التركيب فى صور أكاسيد		
اسم العنصر	الرمز	النسبة المئوية	اسم الأكسيد	القانون	النسبة المئوية
الأكسجين	O	٤٦و٧١	—	—	—
السليكون	Si	٢٧و٦٩	سليكا	SiO_2	٥٩و٠٨
الالومنيوم	Al	٨و٠٧	ألومينا	Al_2O_3	١٥و٢١
الحديد	Fe	٥و٠٥	أكاسيد حديد	$FeO.Fe_2O_3$	٦و٨١
الكالسيوم	Ca	٣و٦٥	جير	CaO	٥و١٠
الصوديوم	Na	٢و٧٥	صودا	Na_2O	٣و٧١
البوتاسيوم	K	٢و٥٨	بوتاش	K_2O	٣و١١
المغنسيوم	Mg	٢و٠٨	مغنيزيا	MgO	٣و٤٥
المجموع		٩٨و٥٨	المجموع		٩٦و٤٧

جدول (١) : متوسط التركيب الكيميائي القشرة الأرضية

ومن هذا الجدول تتضح لنا حقيقتان هامتان :

أولا : إن ثمانية عناصر فقط من بين الاثنين وتسعين عنصرا الموجودة فى الطبيعة تكون حوالى ٩٩ فى المائة بالوزن من تركيب القشرة الأرضية ، وأن بقية العناصر — ومن بينها الذهب والفضة والنحاس والرصاص والزنك — تكون فقط واحد فى المائة بالوزن من تركيب القشرة الارضية

ثانياً : إن الأكسجين هو أكثر العناصر الثمانية انتشاراً على الإطلاق، ولكن هذا لايعنى أن الأكسجين حر طليق فى القشرة الأرضية ، ولكنه فى الواقع مرتبط ارتباطاً كيميائيا فى الصخور المختلفة ، وكذلك الحال بالنسبة للعناصر السبعة الأخرى ، فهى لاتوجد بحالتها العنصرية فى هذه فى الصخور ، ولكنها جميعاً توجد متحدة ومرتبطة بطريقة أو أخرى لتكون مايعرف باسم المركبات الكيميائية .

ونحن نعرف من دراستنا الكيميائية أن العناصر سالفة الذكر باستثناء الأكسجين والسليكون هى عبارة عن فلزات . أما السليكون فله ميل نحو الفلزات . ولكن خواصه تدلنا على أنه يقع بين الفلزات واللافلزات .

وتتحد هذه العناصر السبعة مع الأكسجين لتكون الأكاسيد . ويمكن اعتبار الأكسيد وحدة كيمائية أساسية . كما يتضح من ذكر التركيب الكيميائى للقشرة الارضية فى صورة أكاسيد ، فى جدول (١) . والمعروف أن أكاسيد الفلزات تعطى قواعدا بينما تعطى أكاسيد اللافلزات أحماضا . ويتفاعل أكسيد السليكون فى هذه الاحوال — خصوصا عندما توجد الاكاسيد الفلزية — كحامض، وتكون النتيجة أن يتحد أكسيد السليكون إتحادا كيماتيا بالأكاسيد الفلزية (قواعد) ليكون السليكات . فمثلا إذا اتحد أكسيد المغنسيوم كيميائيا مع أكسيد السليكون ، فإنه ينتج عن ذلك مركب كيميائى يعرف باسم سليكات المغنسيوم .

$$MgO + SiO_2 = MgSiO_3$$

وهذا المركب الناتج هو أحد المركبات التى تتكون بواسطة الطبيعة فى جوف الارض وفى ظروف من الضغط والحرارة مختلفة تماما عما يحدث على سطح الارض .

وفى العادة يتحد أكثر من أكسيد فلزى مع أكسيد السليكون لتكوين سليكات ثنائية أو ثلاثية أو أكثر تعقيدا من ذلك مثل سليكات الالومنيوم والبوتاسيوم .

$$K_2O + Al_2O_3 + 6\ SiO_2 = 2\ KAlSi_3O_8$$

هذه السليكات وغيرها من المركبات الكيميائية التى توجد فى الطبيعة

وتكونت بفعل الطبيعة . هى ماتسميها بالمعادن ، وهى التى تدخل فى تركيب الصخور المختلفة التى تكون القشرة الأرضية والغلاف اليابس. فالمركب الكيميائى الاول (سليكات المغنسيوم) الذى يوجد فى الطبيعة يعرف باسم معدن إنستاتيت Enatatite ، أما المركب الثانى فيعرف باسم أرثوكليز Orhoclase .

وهناك بعض العناصر تكون معادن بمفردها، مثل الذهب والنحاس والكبريت والكربون . إن هذه المعادن توجد فى الطبيعة مكونة من عنصر واحد فقط ، بدلا من أن تكون مركباً كيميائياً ، ولذلك فإنها تعرف باسم المعادن العنصرية Native minerals ومن أمثلتها معادن الذهب والنحاس والكبريت والألماس والجرافيت . وعلى ذلك نجد أن الخاصية الأساسية للمعادن أنها تنتج وتتكون بواسطة الطبيعة ، أى أنها منتجات طبيعية وليست صناعية .

ويتميز كل من هذة المعادن سواء أكان مركباً أم عنصراً بأن ذراته المكونة له توجد مرتبة فى نظام هندسى ، أو بمعنى آخر يتميز المعدن بكونه متبلوراً ، أى يوجد فى هيئة بلورات Crystals .

وفى كثير من الاحوال لا يوجد المعدن بمفرده فى الطبيعة ، ولكنه يوجد مختلطاً مع معدن آخر أو أكثر ، وينتج عن ذلك مخلوط من عدة معادن . مثل هذا المخلوط الطبيعى من معادن مختلفة هو مايعرف باسم صخر Rock .

طبيعة المعادن

يمكننا أن ننظر إلى المعادن — بصفة عامة — على أنها المواد التى منها تتكون صخور القشرة الارضية ، وعلى هذا الاساس تعتبر المعادن أهم صلة طبيعية متيسرة بين أيدينا لمعرفة تاريخ الارض ؛ أو بعبارة أخرى إنها السجل الذى سجلت فيه الحوادث المختلفة المكونة لتاريخ الارض. ويعتبر الجيولوجى المعادن التى يجدها فى الصخور والعروق منتجات نهائية مستقرة لعمليات طبيعية كثيرة ومتشعبة ، ووظيفته الأولى هى الكشف وإزاحة الستار عن غوامض هذه العمليات . وأول مايقوم به جيولوجى المعادن فى هذه الوظيفة هو دراسة خواص أنواع المعادن (بلورية ، فيزيائية ، كيميائية) ونشأتها ، وعلاقتها الزمانية والتسلسل الزمنى لتكونها أو ماتسميه بالنشأة التتابعية Paragenesis . إن معظم الصخور

تتكون من مخاليط معادن عدة ، ولكن قلة من الصخور ، مثل الحجر الجيرى تتكون أساساً من معدن واحد . والغالبية العظمى من المعادن توجد فى الطبيعة مكونة للصخور المختلفة ، أما الباقى فيوجد فى الطبيعة مكونا للعروق veins ومالئا للفجوات ، ومعظم معادن هذا النوع الأخير من الظهور والتواجد فى الطبيعة ذو فائدة اقتصادية ، وتعرف هذه المعادن باسم الخامات ores ، ومنها تستخرج الفلزات المختلفة التى تستفيد الحضارة البشرية منها .

وبما أن هدف جيولوجى المعادن هو الوصول إلى الحقائق الفيزيائية والكيميائية والتاريخية للقشرة الأرضية ، لذلك كان لفظ « معدن » والدراسات المعدنية محصورا فى المواد التى توجد وتتكون فى الطبيعة : فمثلا الصلب والأسمنت والزجاج ولو أنها مواد ناتجة من وحدات معدنية توجد فى الطبيعة ، إلا أنها لا تعتبر معادن لأن الإنسان قام بتجهيزها ؛ وكذلك الحال بالنسبة لجوهرة صناعية مثل الياقوت ruby ، فلو أنها تشابه تماماً جوهرة الياقوت الطبيعية كيميائياً وفيزيائياً إلا أنها لا تعتبر معدناً .

ولا يدخل فى اختصاص جيولوجى المعادن تلك المواد الناتجة من النشاط الحيوانى والنباتى مثل الفحم وزيت البترول والكهرمان إلخ ، ولو أن هذه المواد توجد طبيعياً فى القشرة الأرضية . فاللؤلؤ والصدفة ولو أنهما يشبهان تماماً معدنى الإراجونيت Aragonite والكالسيت Calcite إلا أنهما لا ينتظمان تحت صنف المعادن . هذا بالنسبة لجيولوجى المعادن ، ولكن الجيولوجى الاقتصادى لا يتقيد بهذا التحديد فعندما يتكلم عن الثروات المعدنية لبلد ما فإنه يشمل البترول والفحم وكلاهما منتجات عضوية .

وربما كان أهم تحديد وضعه جيولوجى المعادن عند تعريفه للمعدن هو أن المعدن لا بد أن يكون عنصراً أو مركبا كيميائياً ، أى لابد أن نكون قادرين على التعبير عن التركيب الكيميائى للمعدن بواسطة قانون كيميائى . وعلى هذا الأساس يستثنى من المعادن جميع المخاليط الطبيعية (الميكانيكية) مهما كانت متجانسة ومنتظمة . ولقد نتج هذا التحديد من الصورة التى يعرفها جيولوجى المعادن عن المواد المتبلورة ألا وهى ذلك الهيكل أو البناء من الذرات والأيونات ومجموعاتها الذى يمتد بصورة

منتظمة هندسية فى كل انحاء المادة الصلبة المتبلورة . مثل هذه المادة الصلبة المتبلورة لا بد أن تخضع لقوانين النسب الثابتة والمضاعفة ، وكذلك يجب أن تكون المادة فى كليتها متعادلة كهربائياً . فإذا أحللنا ذرة محل أخرى فى هذه المادة الصلبة المتبلورة — وكثيراً ما يحدث هذا فى الطبيعه — فإن هذا لا يؤثر أو ينقص من التعريف بل ينطبق على مثل هذه المادة ، طالما أن البناء الذرى (الهيكل الذرى) لم يتغير وطالما أن الحالة الكهربية متعادلة ، ولهذا السبب فإننا نجد المعادن فى بعض الأحيان ذات تركيب كيميائى متغير — ولكن فى نطاق محدود — وذلك بسبب إحلال ذرة عنصر محل ذرة عنصر آخر فى بناء المعدن .

ومن ناحية أخرى نجد أن مادة مثل إمرى Emery توجد فى الطبيعة ولها تركيب كيميائى غير عضوى ثابت تقريباً لا ينطبق عليها التعريف أعلاه ، وبالتالى لا تعتبر معدنا ، لماذا ؟ لأنه يمكن فصل هذه المادة إلى مركبين كيميائيين مختلفين تمام الاختلاف عن بعضهما البعض فى خواصهما الفيزيائية والكيميائية هما كوراندوم Corundum Al_2O_3 ، وماجنتيت Magnetite Fe_3O_4 .

وعلى ذلك نجد أن التركيب الكيميائى للمعدن (المكون من عدة عناصر) يمكن التعبير عنه بقانون تتحد فيه العناصر بنسب ثابتة . فمثلا فى المعدن الشائع المعروف باسم كوارتز Quartz نجد النسبة هى ١ ذرة سليكون إلى ٢ ذرة أكسجين ، وينتج عنها القانون SiO_2 . وكذلك الحال بالنسبة لمعدن خام الحديد المعروف باسم هيماتيت Hematite نجد القانون Fe_2O_3 يدل على أن النسبة هى ٢ ذرة حديد إلى ٣ ذرة أكسجين . وهذه النسب ثابتة لا تتغير مهما تغير المكان الذى نجد فيه الكوارتز أو الهيماتيت . أما المعدن المكون للصخور والمعروف باسم أوليفين Olivine فنجد أن قانونه كما تدل عليه التحاليل الكيميائية هو $(Mg,Fe)_2SiO_4$. مثل هذا القانون يدل على أن المغنسيوم والحديد يوجدان فى جميع معادن الأوليفين بنسب تختلف من مكان إلى آخر ، ولكن النسبة بين مجموع ذرات المغنسيوم والحديد إلى عدد ذرات السليكون والاكسجين نسبة ثابته . وهذا يعنى بالنسبة لجيولوجى المعادن أن ذرات المغنسيوم والحديد حرة فى إحلالها محل بعضها البعض فى أماكنها المتشابهة فى البناء الذرى المميز لمعدن الأوليفين . ومثل هذا الإختلاف فى التركيب

الكيميائى ، نتيجة لإحلال ذرة عنصر محل ذرة عنصر آخر ، لا يتعارض مع قانون النسب الثابتة فى المركبات الكيميائية .

وعندما يتكون المعدن وينمو فإن نسب الذرات المكونة له تظل محفوظة ، وينتج عن ذلك ترتيباً الذرات ترتيباً هندسياً منتظماً فى الأبعاد الثلاثة . ويمكننا فى الوقت الحاضر التعرف على هذا النظام الذرى الداخلى بواسطة طرق فنية تستعمل فيها الأشعة السينية والميكروسكوب . ولكن قبل استعمال هذه الطرق كانت دراسة الأسطح الخارجية للمعدن هى التى تعطينا فكرة عن الترتيب الذرى الداخلى . وعندما يكون المعدن حرا فى نموه كما يحدث فى فجوة واسعة مثلا ، فإن النظام الذرى الداخلى يعكس نفسه فى الخارج عن طريق السطوح التى تحد المعدن من الخارج وينتج عن ذلك تكوين « بلورة » المعدن .

وعلى ذلك يمكننا تعريف المعدن بأنه كل مادة صلبة متجانسة تكونت بفعل عوامل طبيعية غير عضوية وله تركيب كيميائى محدود ونظام بلورى مميز .

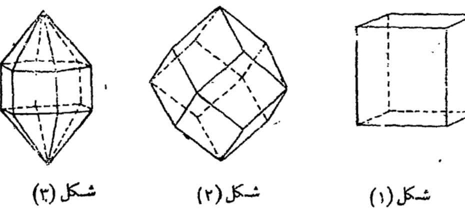
ولعلم المعادن صلة وثيقه بعلوم الجيولوجيا والفيزياء والكيمياء . فجيولوجى المعادن يرسم الخرائط الجيولوجيه فى الحقل ويبين عليها الرواسب المعدنيه والظواهر البنائيه للقشرة الارضية ، ويجمع العينات من هنا وهناك . ثم يحللها فى مختبره ، ويجرى عليها التجارب والطرق المختلفه التى يستعملها الكيميائى والفيزيائى .

ولو أن علم المعادن علم متكامل الوحدات، إلا أنه لغرض الدراسه ومعالجة موضوع المعادن فى هذا الكتاب بطريقه سهله يمكننا تقسيم العلم إلى أفرع البلورات والخواص البلوريه للمعادن Crystallography ، والخواص الفيزيائيه للمعادن Physical Mineralogy ، والخواص الكيميائيه للمعادن Chemical Mineralogy ، ونشأة المعادن Genesis ، وتكونها ووجودها فى الطبيعه Occurrence ، سواء أكان ذلك فى الرواسب المعدنيه المعروفه باسم الخامات أم فى أنواع الصخور المختلفه، ثم وصفها وطرق التعرف عليها Determinative Mineralogy والتمييز بينها .

الباب الثانى

البلورات والخواص البلورية للمعادن

تعريف: علم البلورات هو ذلك العلم الذى يختص بدراسة البلورات والمواد المتبلورة. والمعروف أن المواد المتبلورة توجد فى الطبيعة إما فى حالة حبيبات منفردة أو مجموعات crystalline aggregates. ويمكن تعريف البلورة بأنها عبارة عن جسم صلب متجانس يحده أسطح مستوية تكونت بفعل عوامل طبيعية تحت ظروف مناسبة من الضغط والحرارة. والأسطح المستوية التى تحد البلورة تعرف باسم أوجه البلورات crystal faces ، أشكال (١) ، (٢) ، (٣) .



شكل (١) شكل (٢) شكل (٣)

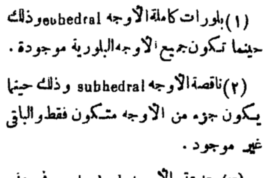
والأوجه البلورية فى الحقيقة هى تعبير وإظهار للترتيب الذرى الداخلى للمادة المتبلورة . والعملية التى تنتج لنا بلورات تعرف باسم عملية التبلور ، وهى عملية تحدث أمام أعيننا إذا تبخر ماء البحر أو المحاليل المشبعة ، أو برد مصهور ببطء أو تكثف غاز إلى الحالة الصلبة مباشرة . وفى البلاد الباردة يتجمد ماء المطر بسبب انخفاض درجة الحرارة وتتكون بلورات الثلج السداسية الشكل .

فإذا فحصنا أى بلورة منفردة من هذه البلورات الناتجة نجد أن التى نمت بحرية ودون عائق يحد من حريتها فى النمو، لها أسطح مستوية أو أوجه ، تكونت طبيعياً أثناء نمو البلورة . أما الأسطح التى نراها مصقولة على قطعة من الزجاج ، ومرتبة فى شكل هندسى جميل ، وتباع كجواهر مقلدة، فإنها لا تسمى أوجها بلورية، كما

أن الزجاج نفسه لا يسمى بلورة. فبالاضافة إلى أن هذه الأسطح المستوية صناعية التكوين . فإن المادة نفسها وهى الزجاج ينقصها البناء الذرى الداخلى المرتب .

ويستخدم علم البلورات الآن باستمرار وباطراد مستمر فى حل كثير من المشاكل الكيميائية والفيزيائية وفى دراسات وأبحاث التعدين والمواد الحرارية والأدوية والدراسات البيولوجية (الحيوية) .

ويمكن تقسيم البلورات حسب إستكمال الأوجه البلورية إلى ثلاثة أقسام:



شكل (٤)

(١) بلورات كاملة الأوجه euhedral وذلك حينما تكون جميع الأوجه البلورية موجودة .

(٢) ناقصة الأوجه subhedral وذلك حينما يكون جزء من الأوجه متكون فقط والباقى غير موجود .

(٣) عديمة الأوجه anhedral وفى هذه الحالة تكون المادة المتبلورة عبارة عن حبيبات لايحدها أوجه بلورية ، وغالباً ماتوجد هذه الحبيبات فى هيئة مجموعات crystalline aggregates كما فى شكل (٤) . الذى يمثل مقطعاً فى صخر مكون من حبيبات الكوارتز عديمة الأوجه .

وتشترك هذه الأنواع الثلاثة (كاملة الأوجه . ناقصة الأوجه . عديمة الأوجه) فى أن لها بناء ذرياً داخلياً منتظماً . أو بمعنى آخر إن المواد المكونة لها (سواء أكانت ذرات أم أيونات إلخ) توجد مرتبة فى نظام هندسى . وعلى هذا الاساس يتبين لنا أنه ليس من الضرورى بتاتاً أن نجد الاوجه البلورية تحد المادة المتبلورة إذ أن تكون هذه الاوجه رهن بالظروف المحيطة بالمادة المتبلورة أثناء عملية التبلور وعلى ذلك فإننا نعرف كل مادة صلبة ذات بناء ذرى داخلى منتظم باسم مادة متبلورة فإذا كانت هذه المادة المتبلورة ذات أوجه طبيعية مرتبة فى نظام هندسى ، ويمكن رؤية هذه الاوجه بواسطة العين المجردة ، أو عدسة مكبرة . سميت باسم بلورة . ويبين شكل (٥) بلورة لمعدن الهاليت (كلوريد الصوديوم) . وطريقة رص

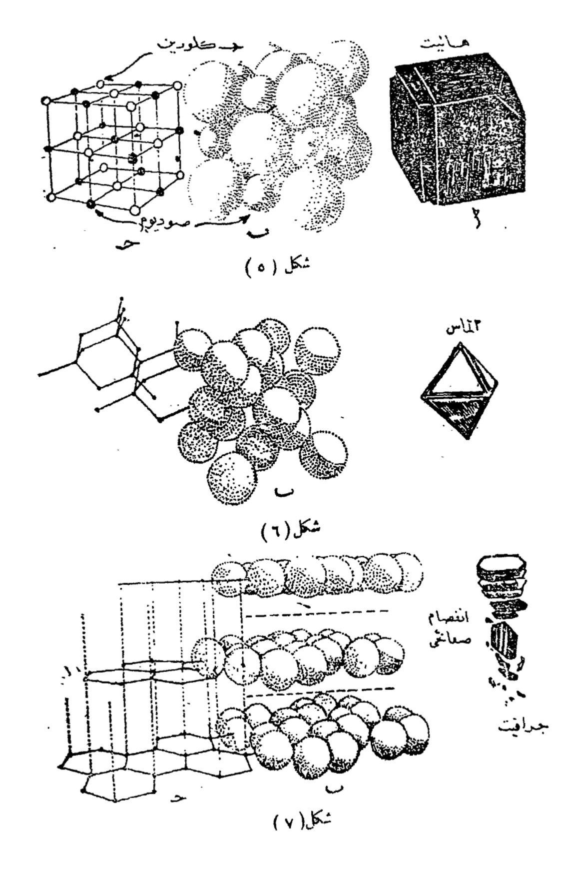
أيونات الصوديوم والكلورين فى بنائها الذرى الداخلى المنتظم . أما شكل (٦) فيبين بلورة لمعدن الألماس (كربون) ، وهى تختلف فى شكلها الخارجى وكذلك فى طريقة رص ذرات الكربون داخلها عن بلورة الهاليت . أما شكل (٧) فيبين طريقة أخرى لرص ذرات الكربون لتنتج لنا بلورة مختلفة تماماً عن بلورة الألماس ، هى بلورة معدن الجرافيت .

أما إذا كانت المادة ينقصها البناء الذرى الداخلى المنتظم فتوصف بأنها مادة غير متبلورة noncrystalline or amorphous وتكون المعادن غير المتبلورة فى المملكة المعدنية قلة (وتعتبر استثناء وليست القاعدة إذا التزمنا بالتعريف الحرفى للمعدن الذى يتضمن أن المعدن مادة متبلورة) ومن أمثلة المعادن غير المتبلورة الأوبال (Opal ($SiO_2 . nH_2O$ والكريزوكولا Chrysocolla (سليكات النحاس المائية) . ولما كان البناء الذرى فى مثل هذه المواد غير المتبلورة غير منتظم فإننا نجد أن تركيبها الكيميائى غير ثابت . وبالتالى لا يعبر عنه بقانون كيميائى . فمثلا تتراوح نسبة الماء فى معدن الأوبال مابين ٤ و ٩ بالمائة وقد تصل إلى ٢٠ بالمائة من وزن المعدن . أما فى معدن الكريزوكولا فإن تركيبه الكيميائى متغير فى مدى كبير حيث نجد أن كميات النحاس والماء متغيره وليست ثابتة .

ومن هذا يتضح لنا أن الفرق بين المادة المتبلورة وغير المتبلورة يكون فى البناء الداخلى . فإذا كانت الذرات مرتبة فى نظام معين فالمادة متبلورة ، أما إذا لم تكن كذلك ، أى أن الذرات غير مرتبة ، فالمادة إذن غير متبلورة . وعندما لا توجد أوجه بلورية ، فإنه لا يمكن التفرقة بين المادة المتبلورة وغير المتبلورة إلا بواسطة استعمال الميكروسكوب المستقطب وفى بعض الأحيان الاشعة السينية .

ولكن إذا كانت الاوجه البلورية موجودة ، كلها أو بعضها ، فإن دراستها تساعدنا كثيراً فى التعرف على المعدن ، لأن الأوجه البلورية ، ماهى إلا تعبير عن البناء الذرى الداخلى المميز للمعدن . و « مورفولوجيا البلورات » هو ذلك الفرع من علم البلورات الذى يختص بدراسة الخواص الخارجية للبلورات .

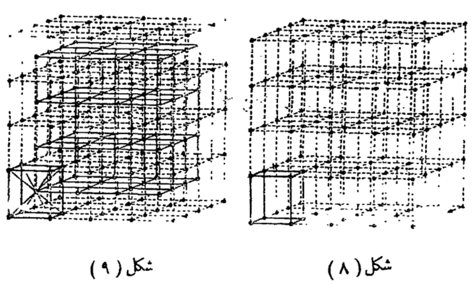
وقبل أن نصف المظهر الخارجى للبلوات بشىء من التفصيل ، يجدر بنا أن نشير أشارة سريعة إلى بعض الخواص الهندسية للبناء الذرى الداخلى المنظم للبلورات .



كلورين
هـاليت
صوديوم
ب
حـ
شكل (٥)
ألماس
ب
شكل (٦)
انفصام
صفائحي
جرافيت
ب
حـ
شكل (٧)

البناء الداخلى للبلورات

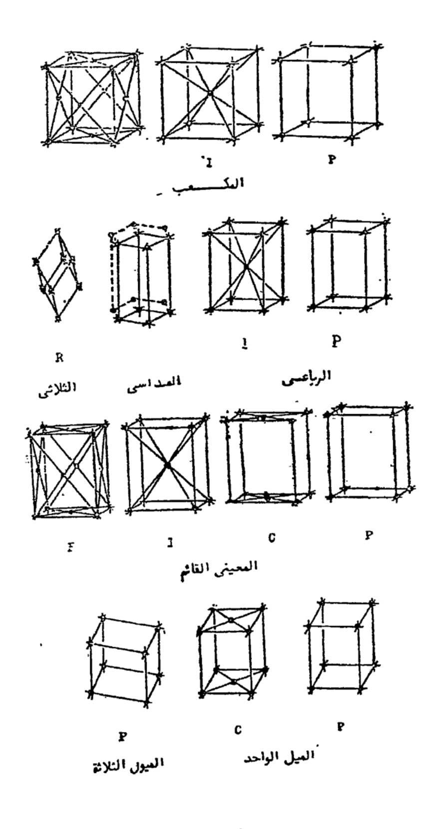
تتميز المواد المتبلورة بحقيقة أساسية هى الترتيب المنتظم للذرات والأيونات التى تتكون منها . وعلى هذا الأساس يجب أن نتصور البلورة كبنيان يتكون من وحدات غاية فى الدقة تتكرر بانتظام فى الأبعاد الثلاثة ، شكل (٨) ، (٩) . وأساس البناء البلورى هو التكرار ، الذى يمكن تشبيهه بتكرار رسم معين على ورق الزينة الذى يلصق على الحائط (ولكن مع فارق أنه فى هذه الحالة الأخيرة يكون التكرار فى بعدين فقط) .



شكل (٩)　　　　شكل (٨)

وتترتب هذه الوحدات المتشابهة عند نقاط منتظمة فى الأبعاد الثلاثة بطريقة تجعل كل نقطة لها نفس الظروف المحيطة بالنقاط الأخرى ويتحدد هذا الترتيب بواسطة اتجاهاته الثلاثة والمسافات التى تتكرر عندها النقاط فى هذه الاتجاهات. وقد أوضحت المحاولات التى قام بها برافيه Bravais عام ١٨٤٨ أن هناك ١٤ نمطا فقط لهذه الترتيبات الفراغية ممكنة هندسيا . وتعرف هذه الترتيبات الفراغية باسم الترتيبات الفراغية الأربعة عشر لبرافيه The 14 Bravais Space Lattices شكل (١٠) .

وأبسط وحدات الترتيب الفراغى مجسم متوازى السطوح Parallelepiped ويعرف باسم الوحدة البنائية unit cell . ويلاحظ ، فى شكل (١٠) ، أن بعض


I
P
المكعب
R
I
P
الثلاثى
السداسى
الرباعى
F
I
C
P
المعينى القائم
P
C
P
الميول الثلاثة
الميل الواحد

شكل (١٠)

هذه الترتيبات الفراغية أو الوحدات البنائية لها نقاط عند الأركان فقط، وتعرف بأسم الترتيبات الفراغية البدائية Primitive (P) تحتوى الواحدة منها على نقطة واحدة (وتفسير ذلك أنه بالرغم من وجود نقاط عند الأركان الثمانية للوحدة البنائية فى الترتيب الفراغى البدائى، إلا أنه نظراً لأن كل نقطة من هذه النقاط تكون مشتركة بين ثمانى وحدات بنائية متجاورة. فإن ثمن ($\frac{1}{8}$) نقطة يتبع الوحدة البنائية الواحدة، وبالتالى تسهم النقاط عند الأركان الثمانية بما يساوى نقطة واحدة بالنسبة للوحدة البنائية الواحدة). وتختلف هذه الوحدات البنائية البدائية عن بعضها البعض فى أطوال حدودها (حوافها edges) والزوايا المحصورة بين هذه الحدود (α, β, γ) أما بقية الوحدات البنائية، شكل (١٠)، فلها نقاط إضافية إما عند مراكز جميع الأوجه. وتعرف بأسم مركزة الأوجه Face(F) centered أو عند وجهين متقابلين End centered(C) : أو مركزة فى الداخل Body centered(I) . وفى جميع هذه الحالات تكون الوحدة البنائية مضاعفة أى تحتوى على أكثر من نقطة (٤ نقاط فى حالة F ، نقطتان فى كل من حالتى I ، C)

وتكون الوحدات البنائية المرصوصة فى ترتيب الهيكل الفراغى — مثلا، شكل (٨) : ترتيب فراغى بدائى P ، وشكل (٩) : ترتيب فراغى مركز فى الداخل I — البلورات التى نمسكها بين أيدينا ونجرى عليها الإختبارات. وما هذه الوحدات فى الحقيقة إلا ذرات أو مجموعات من الذرات. ففى البلورات كما فى المعادن العنصرية (أى التى تتكون من عنصر واحد)، نجد الذرات غير مشحونة؛ ولكن فى معظم الإحيان تحمل الذرات شحنات كهربية، وتعرف حينئذ بأسم أيونات ions (تعرف الموجبة منها بأسم كاتيونات بينما تعرف السالبة بأسم أنيونات). وتتكون معظم المعادن من أيونات أو حشود من الايونات يضمها إلى بعضها البعض روابط كهربائية ناشئة عن الشحنات المضادة. ونقصد بكلمة بناء structure البلورة ترتيب الايونات والمجموعات الأيونية فى الفراغ وطبيعة الروابط الكهربائية التى تضم هذه الايونات إلى بعضها البعض، ومدى قوة هذه الروابط. ويمكن تشبيه الوحدات البنائية (الذرات والأيونات والحشود الأيونية) بقالب الطوب، فى بنيان حائط، بينما تشبه الروابط الكهربائية بين هذه الوحدات البنائية، بالمونة، التى تضم القوالب بعضها إلى بعض.

الخواص الخارجية للبلورات

الأوجه البلورية :

قلنا أن البلورة تتميز عن المادة المتبلورة فى أن لها أسطحا مستوية خارجية تعرف بالاوجه البلورية . ونجد أن لهذه الاوجه البلورية علاقة بالنظام الذرى الداخلى . هذه العلاقة ناشئة من أن هذه الأوجه البلورية تتكون نتيجة لهذا النظام الذرى الداخلى. الملاحظ أنه عندما ترتب الذرات نفسها فى أى نظام - أثناء نمو المادة المتبلورة . قد يكون هناك عدد معين من السطوح المحتمل تكونها لتحد البلورة الناتجة وهذا العدد يكون عادة قليلا ، وذلك لأن المستويات التى تشمل أكبر عدد من الذرات هى التى تحدد أمكنة الأوجه البلورية ، أى أن الأوجه البلورية المحتمل تكونها (وفى العادة هى التى تتكون فعلا) هى التى تشمل أكثر عدد ممكن من الذرات.

فإذا فحصنا شكل (١١) ، نجد أنه يمثل البناء الذرى لإحدى البلورات مثلا فى بعدين فقط ، وأن الذرات تبعد عن بعضها البعض بمسافات متساوية، ونلاحظ أن هناك عدداً لا حصر له من المستويات التى يمكن أن توجد فى هذا الترتيب الفراغى ، ولكن الأسطح أو الأوجه البلورية المحتمل تكونها هى تلك التى تشمل أكبر عدد من الذرات ، ولذلك

شكل (١١)

فاننا نجد أن السطح أو الوجه ا ب وكذلك السطح ا حـ هما أكثر الأوجه تكونا وإنتشاراً على بلورات هذه المادة .

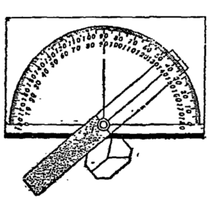
ولما كان البناء الذرى الداخلى للمادة المتبلورة ثابت ، وأن الأوجه البلورية — كما أسلفنا — لها ارتباط وثيق ثابت بالنظام الذرى الداخلى ، فانه ينتج عن ذلك أن الأوجه البلورية الخارجية لابد وأن تكون ذات علاقة ثابته مع بعضها البعض . هذه العلاقة الثابتة بين الأوجه البلورية توجد فى الزوايا التى تكونها الأوجه . وهذه الحقيقة تعرف باسم قانون ثبات الزوايا بين الوجهية Law of constancy of interfacial angles

وينص هذا القانون على أن زاوية الميل بين وجهين بلوريين (زاوية بين

وجهية) ثابته فى بلورات المادة الواحدة (عند درجة الحرارة الواحدة). فنجد فى الشكل السابق (١١) أن الوجه ا حـ يعمل زاوية مقدارها ٤٥° مع الوجه اب فى جميع بلورات هذه المادة ذات النظام الذرى المبين (المسافات متساوية بين الذرات فى جميع الاتجاهات)، أما الوجه ا د فانه يعمل زاوية مقدارها ٤١َ ٣٣° مع الوجه ا ب ، و يعمل الوجه ا هـ زاوية مقدارها ٣٤َ ٢٦° مع الوجه ا ب ، أما الوجه ا و فيعمل زاوية مقدارها ٢٦َ ١٨° مع الوجه ا ب .

وهذا القانون أساسى ومهم جدا فى علم البلورات ، فبواسطته يمكن التعرف على كثير من المعادن ، وذلك إذا قسنا الزوايا بين الوجهية بدقة (بواسطة جهاز يعرف باسم الجونيومتر) إذ أن هذه الزوايا مميزة لكل معدن .

ومن أبسط أنواع الجونيومتر النوع الذى يعرف باسم جونيومتر التماس contact goniometer ، شكل (١١) الذى يستعمل فى قياس الزوايا بين الوجهية على البلورات الكبيرة ونتائجه دقيقة إلى حدما .

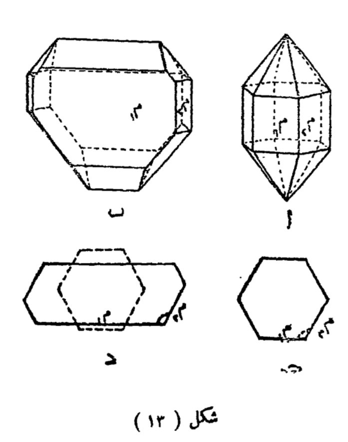


ويمكن التعرف على طريقة استعماله بملاحظة شكل (١٢) ويجب مراعاة أن يكون مستوى ذراعى الجونيومتر متعامدا تماما على حرفى البلورة اللذين يحصران بينهما الزاوية بين الوجهية .

شكل (١٢)

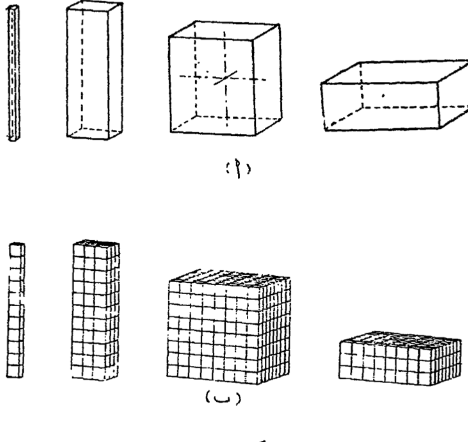
كما يجب ألا يغيب عن الذهن أن الزوايا المكملة (الزوايا الداخلة) هى التى تقاس عادة وتدون كقيمة للزوايا بين الوجهية عند دراسة البلورة . فنى شكل (١٢) تسجل الزاوية التى مقدارها ٤٠° وليست الزاوية التى مقدارها ١٤٠° .

وأول من لاحظ ثبات الزوايا بين الوجهيه هو العالم الدنيمركى استينو عام ١٦٦٩ . فعندما قطع مقاطع أفقيه فى عدد كبير من بلورات الكوارتز شكل (١٣) ، وجد أن الزاوية بين أى وجهين ، وليكونا م١ ، م٢ مثلا ، مقدارها ثابت بين جميع الأوجه التى تناظر م١ ، م٢ فى المقاطع الأخرى . هذه الزاويه مقدارها ١٢٠° وهى ثابته مهما اختلفت البلورات فى الشكل الخارجى أو الحجم، ومن أى مكان جمعت البلورة .



شكل (١٣)

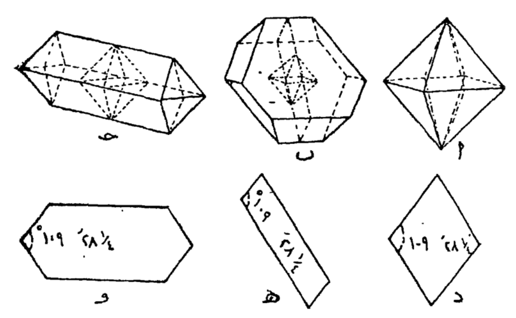
وتختلف بلورة المعدن الواحد فى الطبيعة من ناحية مظهرها . فنها الصغير ومنها الكبير، ومنها المفلطح ومنها الطويل ، إبرياكان أو منشوريا . ولكننا نجد أنه مها اختلف المظهر فإن الزوايا بين الوجهية ثابتة . فبلورة مكعبة الشكل شكل (١٤) قد توجد متساوية الأبعاد أو مفلطحة أو منشورية ، أو إبرية ولكن فى جميع الحالات تبقى الزاوية بين أى وجهين متناظرين ثابتة ومقدارها فى هذه الحالة ٩٠° . والسبب فى ذلك أن المظهر الخارجى للبلورة المكعبة هو الذى تغير ، أما البناء الداخلى وترتيب الذرات فلم يتغير - فالوحدات البنائية التى يتكون منها المكعب شكل (١٤ب) ثابتة فى جميع المظاهر الخارجية للبلورة . فهى وحدات متساوية الأبعاد ، والذى حدث هو أنه أثناء عملية نمو البلورة ، تؤثر الظروف المحيطة على النمو ، فقد تجعل الوحدات البنائية تضاف بنسب متساوية فى الأبعاد الثلاثة فينتجا المكعب . أو تضاف بسرعة كبيرة فى بعدين فقط وبسرعة بطيئة فى بعد واحد فتنتج بلورة مفلطحة (نضدية) ، (أقصى اليمين فى شكل — ١٤) ، أو تضاف



شكل (١٤)

الوحدات البنائية بسرعة كبيرة نسبياً فى بعد واحد فقط فتنتج بلورة منشورية ، أو بسرعة كبيرة جداً فى بعد واحد أيضاً فتنتج بلورة إبرية (أقصى اليسار فى شكل — ١٤) .

ونلاحظ بصفة عامة أن الأوجه البلورية فى البلورات الطبيعية (الموجودة فى الطبيعة) غير متساوية التكوين . فنجد مثلا أن الأوجه البلورية الثمانية للشكل البلورى المعروف باسم ثمانى الأوجه octahedron شكل (١٥ - ١) لا تكون متساوية فى شكل مثلثات متساوية الأضلاع [كما هو الحال فى البلورة النموذجية، شكل (١٥ - ا)] ولكن نجد أن هذه الأوجه غير متساوية التكوين ، شكل (١٥ - ب ، حـ) ، ولكن بالرغم من عدم تساوى الأوجه فإن الزوايا بين الوجهية ثابتة ، شكل (١٥ - د ، هـ ، و) .



(شكل ١٥)

ويعرف عدم تساوى الأوجه البلورية للشكل البلورى الواحد باسم اختلاف الأوجه البلورية أو التشوه distortion، وتعرف البلورة فى هذه الحالة باسم مختلفة الأوجه البلورية أو مشوهة distorted . والتشوه لايغير من قيمة الزوايا بين الوجهية بالمرة . وهذا ناتج من أن الأوجه البلورية نفسها ثابتة الميل والاتجاه ، لأنها هى الأخرى نتيجة وتعبير للبناء الذرى الداخلى المنظم للبلورة شكل (١١) ، إذ تكون الأوجه البلورية موازية للمستويات التى تشمل أكبر عدد ممكن من الذرات . وبما أن الترتيب الذرى الداخلى ثابت فى جميع بلورات المادة الواحدة ، لذلك كانت الأوجه البلورية المتكونة على جميع هذه البلورات ثابتة الاتجاه أيضاً ، وبالتالى تكون الزوايا بينها ثابتة .

عناصر التماثل

Elements of Symmetry

من الظواهر الملحوظة على كثير من البلورات ظاهرة التوزيع المنظم والمرتب للأوجه البلورية . فاننا نجد أن جميع الأوجه البلورية وكذلك الذرات والأيونات المكونة للمادة مرتبة حسب نظام خاص وتنسيق معين يخضع لقواعد معينة تعرف باسم عناصر التماثل . وجوهر التماثل هو التكرار . فنلاحظ أن وجه البلورة مثلا أو أحد أحرفها يتكرر عدة مرات - أى يوجد فى أماكن متماثلة عدداً من المرات - طبقا لقانون ثابت . ويعتبر التماثل أساساً فى دراسة البلورات .

ويمكن تعريف التماثل فى بلورة ما بأنه عبارة عن العمليات التى ينتج عنها أن تأخذ مجموعة معينة من الأوجه البلورية نفس المكان الذى تشغله إحداها .

والعمليات التماثلية المعروفة هى :

(١) دوران حول محور (محور التماثل الدورانى) .

(٢) انعكاس خلال مستوى (مستوى التماثل) .

(٣) انقلاب حول مركز (مركز التماثل) .

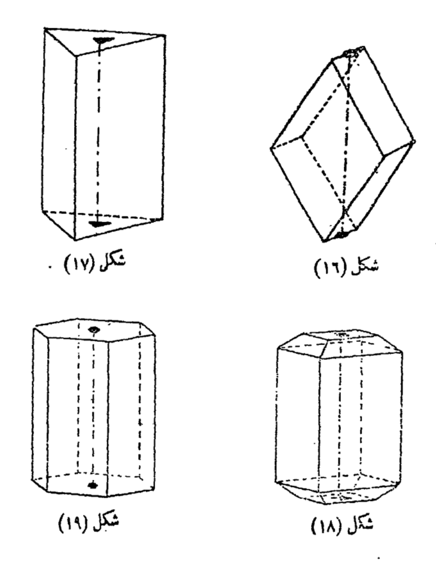
(٤) دوران حول محور مصحوباً بانقلاب (محور التماثل الإنقلابى) .

ويعرف المحور والمستوى والمركز باسم عناصر التماثل .

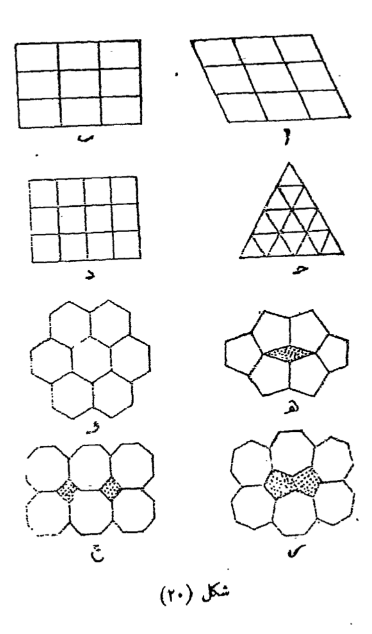
محور التماثل الدورانى Rotation axis of symmetry

وهو عبارة عن الخط الذى يمر بمركز البلورة والذى تدور أو تلف حوله البلورة وينتج عن هذا أن يتكرر وضع البلورة ، أى ظهور وجه أو حرف ما مرتين أو أكثر ومتخذا فى كل مرة موضعاً مشابها للموضع الأول خلال دورة كاملة (أى ٣٦٠°) ، أشكال (١٦) ، (١٧) ، (١٨) ، (١٩) .

ويطلق على المحور اسم ثنائى التماثل digonal or twofold أو ثلاثى التماثل trigonal or threefold أو رباعى التماثل teragonal or fourfold أو سداسى التماثل hexagonal or sixfold حسب عدد المرات التى يظهر فيها الوجه على البلورة فى الدورة الكاملة . ففى حالة المحور ثنائى التماثل ، شكل (١٦) ، يظهر الوجه كل ١٨٠° ، ويتكرر وضع البلورة مرتين فى ٣٦٠° . وفى حالة المحور ثلاثى التماثل ، شكل (١٧) يظهر الوجه كل ١٢٠° ، ويتكرر وضع البلورة ثلاث مرات فى الدورة الكاملة . أما فى حالة المحور رباعى التماثل ، شكل (١٨) ، فإن الوجه يظهر مرة كل ٩٠° ، ويتكرر وضع البلورة أربع مرات خلال ٣٦٠° . وفى حالة المحور سداسى التماثل ، شكل (١٩) ، يظهر الوجه مرة كل ٦٠° ، ويتكرر وضع البلورة ست مرات فى الدورة الكاملة . ويرمز للمحاور التماثلية بالرموز الآتية : ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٦ (2, 3, 4, 6) كما تبين على الأشكال بالصور التالية ⬬ ، ▲ ، ■ ، ⬢ على التوالى .

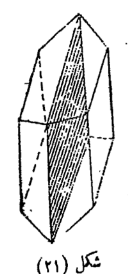

شكل (١٧) .
شكل (١٦)
شكل (١٩)
شكل (١٨)

وقد يتساءل سائل لماذا لا يوجد محور خماسى التماثل أو سباعى التماثل أو أكبر من ذلك ؟ والإجابة على ذلك بسيطة إذا علمنا أن الوحدة البنائية ذات التماثل البلورى يجب أن تكون قادرة على التكرار فى الفراغ دون أن تترك أى فجوات أو مسافات . فالأشكال الثنائية التماثل وكذلك الثلاثية والرباعية والسداسية



شكل (٢٠)

تتكرر لتملأ الفراغ دون أن تترك أى فجوات أو مسافات بينية ، شكل (٢٠-ا ب ، حـ ، د ، و) بينما تترك الأشكال الخماسية والسباعية والثمانية التماثل شكل (٢٠ — هـ ، ر ، ع) مسافات وفجوات (مظللة فى الرسم) ، وهذا لا يتفق مع الترتيب المنتظم فى الفراغ للوحدات البنائية فى الأبعاد الثلاثة .

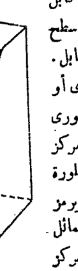


شكل (٢١)

(٢) مستوى التماثل Plane of symmetry

وهو المستوى الذى يقسم البلورة إلى نصفين متشابهين بحيث إذا وضعنا أحد النصفين أمام مرآة فإن الصورة الناتجة تنطبق تماماً على النصف الآخر للبلورة ويرمز للمستوى التماثلى برمز « م » (من كلمة مرآة "m" mirror) شكل (٢١).

(٣) مركز التماثل Center of symmetry



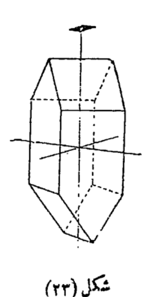
شكل (٢٢)

تحتوى البلورة على مركز تماثل إذا قابل الخط المار بالمركز من أى نقطة على سطح البلورة نقطة مشابهة لها تماما على الجزء المقابل. أو بمعنى آخر إذا وجد لكل وجه بلورى أو حرف فى ناحية من مركز البلورة وجه بلورى مشابه أو حرف فى الناحية المقابلة الأخرى من مركز البلورة وعلى مسافة مساوية ، فإن هذه البلورة تحتوى على مركز تماثل شكل (٢٢) . ويرمز لمركز التماثل بالرمز « ن » « i » (نقطة التماثل الداخلية) . والبلورة إما أن تحتوى على مركز تماثل واحد فقط أو لا تحتوى على مركز تماثل بالمرة .

(٤) محور التماثل الإنقلابى Inversion axis symmetry

يجمع هذا العنصر التماثلى بين محور التماثل الدورانى والإنقلاب عبر مركز البلورة ، ويجب إتمام العمليتين قبل الحصول على موقع التكرار الجديد . فإذا كان يوجد بالبلورة مركز تماثل فإنه يرمز له عادة برمز محور الإنقلاب أحادى التماثل ($\bar{1}$) ، إذ أن هذا يكافىء دوران نقطة على البلورة دورة كاملة (٣٦٠°) ثم

تكرارها بانقلابها عبر المركز فى الجهة المقابلة لهذه النقطة على البلورة . وهناك أيضاً محاور انقلابية ثنائية ،وثلاثية ، ورباعية ،وسداسية التماثل. والآن لنتفهم كيف يعمل محور تماثل انقلابى ، وليكن مثلا محور انقلابى رباعى التماثل .
فى حالة محور الدوران الرباعى التماثل، شكل (١٨) ، نلاحظ أن تكرار أربع نقاط (أو أركان) — تبعد الواحدة منها عن الأخرى ٩٠° — يحدث جميعه إما على الجزء الأعلى للبلورة أو على الجزء الأسفل للبلورة . أما فى عملية المحور الإنقلابى الرباعى التماثل ، فإن النقاط (أو الأركان الأربع سوف تتكرر أيضاً كل ٩٠° ، ولكن اثنتين منها توجد أعلى البلورة ، بينما توجد النقطتان الأخريان أسفل البلورة ، شكل (٢٣) .إن عمل مثل هذا المحور الإنقلابى التماثل يشمل أربعة دورانات كل ٩٠° ، ويلى كل عملية دوران انقلاب عبر المركز . وعلى ذلك إذا كانت النقطة الأولى فى الجزء الأعلى من البلورة ، كانت النقطة الثانية فى الجزء الأسفل للبلورة ، والثالثة فى الجزء الأعلى والرابعة فى الجزء الأسفل . ويرمز للمحاور الانقلابية أحادية ، وثنائية ، وثلاثية، ورباعية وسداسية التماثل بالرموز الآتية على التوالى :



شكل (٢٣)

$\bar{١}$ ، $\bar{٢}$ ، $\bar{٣}$ ، $\bar{٤}$ ، $\bar{٦}$. $(\bar{1}, \bar{2}, \bar{3}, \bar{4}, \bar{6})$

وإذا فحصنا الأشكال السابقة ، (١٦) إلى (١٩) ، شكل (٢١) بشىء من الدقة والتفصيل ، فإننا نلاحظ أن كلا من هذه البلورات المرسومة تحتوى على أكثر من عنصر التماثل المبين فى الشكل . فالبلورة المبينة فى شكل (١٦) مثلا ، تحتوى على محورين آخرين ثنائى التماثل ، كما تحتوى على ثلاثة مستويات تماثلية وتحتوى أيضاً على مركز تماثل ؛ بينما البلورة المبينة فى شكل (٢١) تحتوى على محور ثنائى التماثل عمودى على مستوى التماثل الموضح ، وكذلك تحتوى على

مركز تماثل . أما البلورة المبينة فى شكل (٢٢) فإنها لا تحتوى سوى مركز التماثل المبين بها . وأكبر عدد من عناصر التماثل يمكن أن يوجد فى بلورة واحدة هو ٢٣ ، كما سترى بعد . أما أقل عدد ، فهناك بلورات لا تحتوى على عناصر تماثلية بالمرة .

قانون التماثل Symmetry formula

يمكن كتابة عناصر التماثل فى البلورة فى هيئة قانون يعرف باسم قانون التماثل الكامل Complete Symmetry Formula وذلك باستعمال الرموز التماثلية وهى : ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٦ للمحاور الدورانية الثنائية والثلاثية والرباعية والسداسية التماثل على التوالى و $\overline{١}$ ، $\overline{٢}$ ، $\overline{٣}$ ، $\overline{٤}$ ، $\overline{٦}$ للمحاور الانقلابية الأحادية والثائية والثلاثية والرباعية والسداسية التماثل على التوالى ، م لمستوى التماثل ، ن لمركز التماثل . فإذا وجد محور دوران تماثلى عموديا على مستوى تماثل فإن القانون يكتب هكذا $\frac{٢}{م}$ أو $\frac{٣}{م}$ ، الخ . . ، حسب درجة المحور التماثل ، ويقرأ اثنين على ميم ، ثلاثة على ميم الخ . . . أما إذا كان المحور التماثلى ، يمر فى المستوى التماثلى وليس عموديا عليه ، فإن القانون يكتب ٢م أو ٣م الخ . . حسب درجة المحور التماثلى . أما فى حالة وجود مستويان تماثليان أحدهما عمودى على المحور التماثلى والآخر يمر بالمحور فإن القانون يكتب $\frac{٢}{م}$م أو $\frac{٣}{م}$م ، الخ . وفى حالة وجود أكثر من محور تماثل واحد أو مستوى تماثل واحد فإن عدد المحاور أو المستويات يكتب فى الركن الأعلى الشمالى لرمز المحور أو المستوى هكذا $٢^{٣}$ ، $م^{٢}$ ، $\frac{٤}{م}^{٣}$ ، أى ثلاثة محاور ثنائية التماثل ، ثلاث مستويات تماثلية ، ثلاثة محاور رباعية التماثل عمودية على ثلاث مستويات تماثلية ، على التوالى (لاحظ أن القانون الأخير لا يعنى ثلاثة محاور رباعية التماثل عمودية على مستوى تماثل واحد ، إذ أن $\frac{٤}{م}$ تدل على مجموعة غير مجزأة) .

الفصائل والمحاور البلورية

Crystallographic Systems and Axes

الفصائل البلورية Crystallographic Systems

تتبع البلورات سبعة أقسام تعرف باسم الفصائل البلورية السبعة يمكن التعرف عليها على أساس المحاور التماثلية الموجودة كما يلي :

(١) فصيلة المكعب (أو متساوى الأطوال) Cubic or Isometric system وتشمل جميع البلورات التى تحتوى على أربعة محاور ثلاثية التماثل .

(٢) فصيلة السداسى Hexagonal system ، وتشمل جميع البلورات التى تحتوى على محور واحد سداسى التماثل فقط .

(٣) فصيلة الرباعى Tetragonal system ، وتشمل جميع البلورات التى تحتوى على محور رباعى التماثل فقط .

(٤) فصيلة الثلاثى Trigonal system ، وتشمل جميع البلورات التى تحتوى على محور واحد ثلاثى التماثل فقط .

(٥) فصيلة المعينى القائم Orthorhombic system ، وتشمل جميع البلورات التى تحتوى على ثلاثة محاور ثنائية التماثل .

(٦) فصيلة الميل الواحد Monoclinic system ، وتشمل جميع البلورات التى تحتوى على محور واحد ثنائى التماثل فقط .

(٧) فصيلة الميول الثلاثة Triclinic system وبلوراتها لا تحتوى على أية محاور تماثلية .

وتضم كل فصيلة من هذه الفصائل السبعة عددا من المجموعات التماثلية ، أو ما يعرف باسم النظم البلورية Crystal classes (اثنين فى فصيلة الميول الثلاثة ، ثلاثة فى كل من فصيلتى الميل الواحد والمعينى القائم ، خمسة فى كل من فصيلتى الثلاثى والمكعب ، سبعة فى كل من فصيلتى الرباعى والسداسى) وتحتوى على المميزات التماثلية للفصيلة التى تتبعها . فمثلا ، قد تحتوى بلورة تابعة لفصيلة الثلاثى على محور دوران ثلاثى التماثل فقط ، أو على محور انقلابى ثلاثى التماثل ، أو على مجموعة من محور واحد ثلاثى التماثل وثلاثة محاور ثنائية التماثل ، أو ثلاثة مستويات

تماثل ، أو كليهما. معنى ذلك أن فصيلة الثلاثى تضم خمسة نظم بلورية . وعلى هذا الأساس وجد أن الفصائل البلورية السبعة تضم ٣٢ نظاماً بلورياً ، جدول (٢). وفى كل فصيلة يوجد نظام واحد يحتوى على أعلى تماثل بين النظم التابعة لهذه الفصيلة. ويعرف هذا النظام باسم النظام المتكامل التماثل Holosymmetric class

جدول (٢) — الاثنان وثلاثون نظاما بلوريا

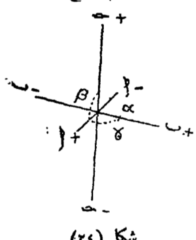
النظام البلورى	Crystal class	[illegible] درجة التماثل
فصيلة المكعب		
سداسى الثمانى الاوجه	Hexoctahedral	٤/م ٣̄ ٢/م ن
الاربعة وعشرون وجها مخمسا	Pentagonal Icositetrahedral	٤ ٣ ٢
سداسى الرباعى الاوجه	Hexatetrahedral	٤̄ ٣ م
الاثنى عشر وجها مزدوجا	Didodecahedral	٢/م ٣̄ ن
رباعى الاوجه ذو الاثنى عشر وجها مخمسا	Tetrahedral pentagonal dodecahedral	٢ ٣
فصيلة السداسى		
الهرم المنعكس السداسى المزدوج	Dihexagonal bipyramidal	٦/م ٢/م ٢/م ن
شبه منحرف الاوجه السداسى	Hexagonal trapezohedral	٦ ٢ ٢
الهرم المنعكس الثلاثى المزدوج	Ditrigonal bipyramidal	٦̄ م ٢
الهرم السداسى المزدوج	Dihexagonal pyramidal	٦ م م
الهرم المنعكس السداسى	Hexagonal bipyramidal	٦/م ن
الهرم المنعكس الثلاثى	Trigonal bipyramidal	٦̄
الهرم السداسى	Hexagonal pyramidal	٦
فصيلة الرباعى		
الهرم المنعكس الرباعى المزدوج	Ditetragonal bipyramidal	٤/م ٢/م ٢/م ن
شبه منحرف الاوجه الرباعى	Tetragonal trapezohedral	٤ ٢ ٢
الوتد المنعكس الرباعى	Tetragonal bisphenoidal	٤̄ ٢ م
الهرم الرباعى المزدوج	Ditetragonal pyramidal	٤ م م
الهرم المنعكس الرباعى	Tetragonal bipyramidal	٤/م ن
الوتد الرباعى	Tetragonal sphenoidal	٤̄
الهرم الرباعى	Tetragonal pyramidal	٤
فصيلة الثلاثى		
مثنى الاوجه الثلاثى المزدوج	Ditrigonal scalenohedral	٣̄ ٢/م
شبه منحرف الاوجه الثلاثى	Trigonal trapezohedral	٣ ٢
الهرم الثلاثى المزدوج	Ditrigonal pyramidal	٣ م
معينى الاوجه	Rhombohedral	٣̄
الهرم الثلاثى	Trigonal pyramidal	٣
فصيلة المعينى القائم		
الهرم المنعكس المعينى القائم	Orthorhombic bipyramidal	٢/م ٢/م ٢/م ن
الوتد المعينى القائم	Orthorhombic sphenoidal	٢ ٢ ٢
الهرم المعينى القائم	Orthorhombic pyramidal	٢ م م
فصيلة الميل الواحد		
منشور الميل الواحد	Monoclinic prismatic	٢/م ن
مسقوف الميل الواحد	Monoclinic domatic	٢̄
وتد الميل الواحد	Monoclinic sphenoidal	٢
فصيلة الميول الثلاثة		
مسطوح الميول الثلاثة	Triclinic pinacoidal	١̄
سطح الميول الثلاثة	Triclinic pedial	١

وسوف نكتفى فى مناقشاتنا الحالية بدراسة النظام الكامل التماثل فى كل فصيلة بالتفصيل ، أما النظم الأقل تماثلا فى كل فصيلة فسوف نشير إليها فى أول الحديث عن الفصيلة . ويجدر بنا أن نشير فى هذا المقام إلى أن بعض المؤلفين فى بعض الدول يعتبرون فصيلة الثلاثى قسماً تابعاً لفصيلة السداسى ، وهذا يعنى ستة فصائل بلورية فقط ولكن العدد الكلى لمجموعات التماثل المختلفة (النظم البلورية) موزعة على هذه الفصائل الستة هو بعينه نفس العدد (٣٢) الذى يضمه التصنيف إلى سبعة فصائل .

المحاور البلورية Crystallographic axes

المحاور البلورية هى عبارة عن ثلاثة خطوط تصورية أو خيالية ، شكل (٢٤) ، (أربعة فى فصيلتى السداسى والثلاثى) والتى يمكن رسمها داخل البلورة بحيث تتقاطع فى مركز البلورة (مركز الثقل) وتعمل كخطوط نرجع إليها كلما أردنا وصف مواضع الأوجه البلورية (كل وجه لابد أن يقطع واحداً أو أكثر من هذه المحاور البلورية على مسافة معينة من المراكز) .

واتجاهات المحاور البلورية محددة على البلورة بواسطة العناصر التماثلية الموجودة ، إذ غالباً ما يكون محور التماثل محوراً بلورياً وخصوصاً بالنسبة للمحور البلورى الرأسى (حـ) الذى يمثل فى غالبية الأحوال المحور الأكثر تماثلا . وينتج عن تقاطع المحاور البلورية ما يسمى بالمتقاطع المحورى axial cross ويرمز إلى وحدات المحاور البلورية إذا كانت متساوية بالرموز ا ا ا . أما إذا كانت الوحدات مختلفة الأطوال فإنه يرمز إليها بالرموز ا ب حـ ، حيث ا هو المحور الممتد من الأمام إلى الخلف (الاتجاه س) ، ب المحور الممتد من اليمين إلى اليسار (الاتجاه ص) ، حـ هو المحور الذى يمتد



شكل (٢٤)

رأسيا (الإتجاه ع) . وتفرق أطراف هذه المحاور بواسطة استعمال الاشارات الموجبة (+) والسالبة (—) . شكل (٢٤) .

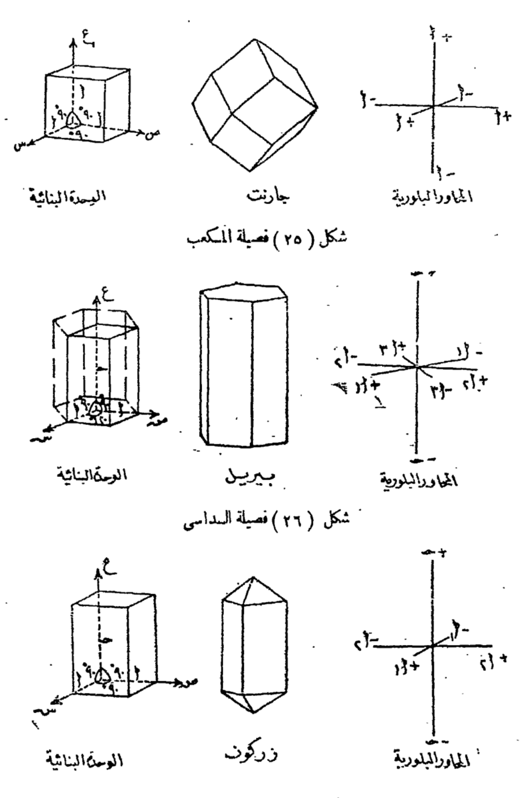
وينتج عن تقاطع هذه المحاور الثلاثة زوايا تعرف باسم الزوايا المحورية axial angles ، وهي زاوية ألفا [α] بين ب ، جـ وزاوية بيتا [β] بين ا ، حـ وزاوية جاما [γ] بين ا ، ب .

وعلى أساس أطوال وحدات المحاور البلورية ، والزوايا بين هذه المحاور ، يمكننا التمييز بين الفصائل البلوريه السبعة كما هو مبين جدول .

اسم الفصيلة:		الزوايا بين المحاور			طول الوحدة في الاتجاهات			
		α	β	γ	س	ص	(ط)	ع
الطول الواحد	المكعب	°٩٠	°٩٠	°٩٠	ا	ا		ا
الطولين	السداسى	٩٠	٩٠	١٢٠	ا	ا	ا	حـ
	الرباعى	٩٠	٩٠	٩٠	ا	ا		حـ
	الثلاثى	α =	β =	γ ± °٩٠	ا	ا	ا	حـ
الأطوال الثلاثة	المعينى القائم	٩٠	٩٠	٩٠	ا	ب		حـ
	الميل الواحد	٩٠	٩٠ >	٩٠	ا	ب		حـ
	الميول الثلاثة	٩٠ >	٩٠ <	٩٠ <	ا	ب		حـ

جدول(٣) الفصائل البلورية وخواصها

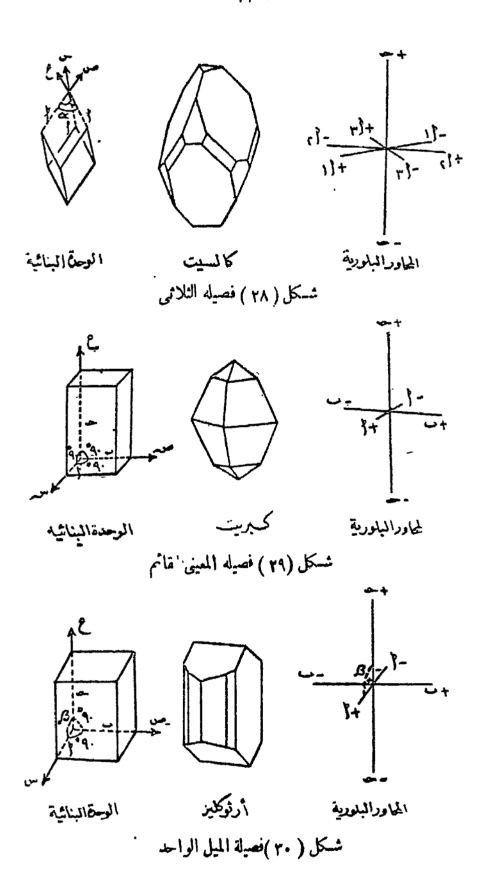
وتبين الاشكال (٢٥) إلى (٣١) المحاور البلورية المميزة لكل فصيلة بلورية ، ومثالا من بلورات المعادن التى تنتمى إلى هذه الفصيلة . والوحدة البنائية لهذه الفصيلة .



شكل (٢٥) فصيلة المكعب

شكل (٢٦) فصيلة السداسى

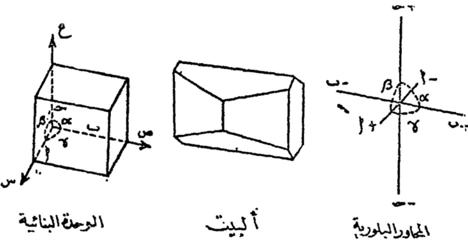
شكل (٢٧) فصيلة الرباعى



شكل (٢٨) فصيله الثلاثى

شكل (٢٩) فصيله المعينى القائم

شكل (٣٠)فصيلة الميل الواحد



شكل (٣١) فصيلة الميول الثلاثة

ويجدر بنا الإشارة فى هذا المكان إلى أن المحور البلورى حـ هو دائماً محور سداسى التماثل فى فصيلة السداسى، ورباعى التماثل فى فصيلة الرباعى ، وثلاثى التماثل فى فصيلة الثلاثى. وتختلف فصيلة الثلاثى عن السداسى ، بجانب الاختلافات السابقة ، فى أن فصيلة الثلاثى لا تحتوى بلوراتها على مستوى تماثل أفقى .

تعليمات بشأن اختيار المحاور البلورية : (فى النظم الكاملة التماثل)

فصيلة المكعب : المحاور الرباعية التماثل هى المحاور البلورية .

فصيلة السداسى : المحور السداسى التماثل هو المحور حـ . وأطول ثلاثة محاور ثنائية التماثل هى المحاور $ا_١$ ، $ا_٢$ ، $ا_٣$.

فصيلة الرباعى : المحور الرباعى التماثل هو المحور حـ . وأطول محورين ثنائى التماثل هما المحوران $ا_١$ ، $ا_٢$.

فصيلة الثلاثى : المحور الثلاثى التماثل هو المحور حـ . وأطول ثلاثة محاور ثنائية التماثل هى المحاور $ا_١$ ، $ا_٢$ ، $ا_٣$.

فصيلة المعينى القائم ، الثلاثة محاور الثنائية التماثل هى المحاور البلورية ، وفى العادة يختار حـ أطول من ب ، ب أطول من ا .

فصيلة الميل الواحد المحور الثنائى التماثل هو المحور ب . يختار بعد ذلك المحور حـ موازياً لحروف أربعة أوجه متشابهة تماماً والتى تعتبر مكونة لشكل

منشور prism، وبعد ذلك يختار المحور ا موازيا للسطحين اللذين يقطعان أوجه المنشور بزاوية تقرب من القائمة

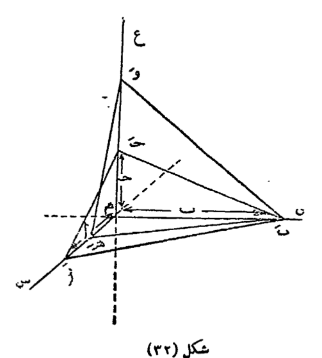
فصيلة الميول الثلاثة : إبحث عن ثلاثة أزواج من السطوح المتوازية والتي تتقاطع مع بعضها بزوايا تقرب من القائمة والتي تحد الفراغ كعلبة كبريت مشوهة distorted ، وتختار المحاور البلورية موازية لهذه الأسطح (كل محور موازي لمجموعتين من هذه المجموعات الثلاث) (كل مجموعة تتكون من سطحين) .

غالباً يكون جـ > ب > ا

الأوجه البلورية ، التقاطعات ، الإحداثيات ، الأدلة

Crystal faces, Intercepts, Parameters, Indices

عندما نريد وصف الأوجه البلورية فإنه يكون لزاماً علينا أن نحدد مواضع هذه الأوجه بالنسبة للمحاور البلورية . فالذي يهمنا في الدراسات البلورية هو اتجاه ميل الوجه وليس شكله أو حجمه ، وكما سبق أن قلنا إنه ينتج من الإتجاهات الثابتة للأوجة زوايا ثابتة مميزة . تعرف باسم الزوايا بين الوجهية ، فكذلك ينتج من إتجاه ميل وجه البلورة أن الوجه قد يقطع المحاور البلورية الثلاثة . أو يقطع محورين ويوازي الثالث ، أي يقطع محورا واحدا ويوازي الاثنين الآخرين . ويظهر كل تقاطع — بين الوجه والمحور البلوري — على مسافة معينة من مركز البلورة ، شكل (٣٢) . وتعرف هذه المسافة التي يمكن قياسها بالمليمترات أو السنتيمترات إلخ باسم تقاطع الوجه intercept بالمحور البلوري. وعلى ذلك نجد أنه في البلورات الكبيرة يكون التقاطع أكبر منه في البلورات الصغيرة ، لأن قيمة التقاطع في هذه الحالة تتوقف على فرصة البلورة في النمو وعلى ذلك نجد أنه من المستحب ومن الأفضل أن نلجأ إلى طريقة لوصف الأوجه البلورية لا تعتمد بالمرة على حجم البلورة الذي توجد عليه في الطبيعة . مثل هذه الطريقة موجودة ، وفيها لا نستعمل المسافة المطلقة من المركز إلى الوجه وإنما نستعمل المسافة النسبية relative distance التي تقاس بالنسبة إلى طول الوحدة على كل محور بلوري . هذا يعني أننا لا بد أن نختار أولا وجهاً بلورياً يقطع جميع المحاور الثلاثة ويحدد بذلك طول الوحدة على كل من هذه المحاور ، ويعرف هذا الوجه باسم وجه الوحدة unit face ، وبعد ذلك يمكننا أن نعبر عن



شكل (٣٢)

تقاطعات جميع الأوجه البلورية الأخرى فى هيئة نسبة ratio إلى تقاطعات وجه الوحدة .

مثلا فى بلورة لمعدن التوباز Topaz ، فلوروسليكات الألومنيوم ، نجد أن تقاطعات وجه الوحدة، اَ بَ حَ ،شكل (٣٢)، هى ١ر٣٥٤ مم، ٢ر٥٦٢ مم، ١ر٢٤٢ مم على المحاور ا ، ب، حـ على التوالى. ولما كانت هذه الوحدات — مقاسة على هذا النحو بالملليمترات — تدل على الحجم ، وتتغير تبعاً لتغيره ، فاننا نتجنب استعمال مثل هذه الوحدات الحجمية . وذلك بأن نقسم كل قيمة من قيم هذه التقاطعات على قيمة التقاطع على المحور ب ، وينتج عن ذلك تقاطعات نسبية (بالنسبة إلى ب) بدلا من التقاطعات المطلقة ، هكذا :

$$\frac{١ر٣٥٤}{٢ر٥٦٢} = ٠ر٥٢٨ ، \frac{٢ر٥٦٢}{٢ر٥٦٢} = ١ر٠٠٠ ، \frac{١ر٢٤٢}{٢ر٥٦٢} = ٠ر٤٧٧$$

وعلى ذلك يمكننا تعريف التقاطعات النسبية relative intercepts بأنها عبارة عن التقاطعات الناتجة من قسمة كل تقاطع على ب . وفى المثال المذكور تكون التقاطعات النسبية هى ٠ر٥٢٨ : ١ : ٠ر٤٧٧ . ولما كانت هذه النسبة هى نسبة طول الوحدات على المحاور البلورية كما حددها وجه الوحدة ،

فإنها تعرف أيضا باسم النسبة المحورية axial ratio (أى نسبة ا : ب ، حـ = ٥٢٨ر٠ : ١ : ٤٧٧ر٠) . وهى نسبة غير متساوية ، أى أن بلورة التوباز تتبع إحدى الفصائل التالية : المعينى القائم ، أو الميل الواحد ، أو الميول الثلاثة . ولكن لما كانت الزوايا المحورية قائمة ، فالبلورة إذن تتبع فصيلة المعينى القائم. ونلاحظ فى هذه الحالة أن المسافات السابق قياسها للتقاطعات (بالمليمترات) قد تفاديناها باستعمالنا للنسبة التى يكون فيها تقاطع ب يساوى دائماً ١ (واحد) (لأننا نقسم دائماً المسافات المطلقة على مسافة ب لتنتج هذه النسبة) .

أما إحداثيات الوجه البلورى (البارامترات) parameters فهى عبارة عن رموز تدل على التقاطعات النسبية لهذا الوجه مع المحاور البلورية، أى نسبة التقاطعات النسبية لهذا الوجه إلى التقاطعات النسبية لوجه الوحدة .

$$\text{إحداثيات الوجه} = \frac{\text{التقاطعات النسبية لهذا الوجه}}{\text{التقاطعات النسبية لوجه الوحدة}}$$

ولما كان وجه الوحدة قد اختير ليقطع المحاور البلورية عند أطوال الوحدة فإن إحداثياته تكون ا : ب : حـ (مفهوم أن الرقم ١ يسبق كلا من هذه الحروف لأننا لا نكتب ١ ا : ١ ب : ١ حـ) .

فى شكل (٣٢) تقاطعات وجه الوحدة اَ بَ حَ هى ا : ب : حـ . ولنأخذ وجهاً آخر وليكن هـَ بـَ وَ موجوداً على بلورة التوباز أيضاً . هذا الوجه له التقاطعات الآتية : ٦٧٦ر٠ مم ، ٥٦٢ر٢ مم ، ٤٤٤ر٢ مم على المحاور ا ب حـ على التوالى ، فإذا قسمنا هذه التقاطعات على تقاطع ب فإنه ينتج عن ذلك التقاطعات النسبية الآتية :

$$\frac{٠{,}٦٧٦}{٢{,}٥٦٢} : \frac{٢{,}٥٦٢}{٢{,}٥٦٢} : \frac{٢{,}٤٤٤}{٢{,}٥٦٢} \text{ ، أى } ٠{,}٢٦٤ : ١ : ٠{,}٩٥٤$$

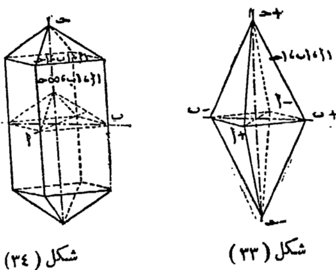
ثم إذا قسمنا هذه الأرقام (التقاطعات النسبية للوجه) على التقاطعات النسبية لوجه الوحدة فإنه ينتج عندنا النسب الآتية :

$$\frac{٠{,}٢٦٤}{٠{,}٥٢٨} = \frac{١}{٢} : \frac{١{,}٠٠٠}{١{,}٠٠٠} = ١ : \frac{٠{,}٩٥٤}{٠{,}٤٧٧} = ٢$$

هذه الأرقام الأخيرة ½ ا : ا ب : ٢ حـ هى إحداثيات الوجه الثانى هـَ بَ وَ وعندما يكون الوجه البلورى موازياً لأحد المحاور البلورية ، أى أنه لا يقطعه فإن الرمز ∞ (مالا نهاية) يستعمل فى إحداثياته .

ومن ذلك نرى أن الوجه البلورى إما أن يقطع المحور على مسافة معينة ، أو يكون موازياً له، وينتج عن ذلك أن الإحداثيات الممكنة فى جميع الفصائل البلورية لاتتعدى سبعة إحداثيات أساسية هى ا : ب : حـ ، ∞ ا : ب : حـ ، ا : ∞ ب : حـ ، ا : ب : ∞ حـ ، ∞ ا : ∞ ب : حـ ، ∞ ا : ب : ∞ حـ ، ا : ∞ ب : ∞ حـ .

وفى شكل (٣٣) نشاهد وجه الوحدة له الإحداثيات ١ ا : ١ ب : ١ حـ . أما فى شكل (٣٤) فنشاهد بلورة بها وجه الوحدة ١ ا : ١ ب : ١ حـ يقطع المحاور البلورية فى مسافات الوحدة ، ووجه آخر له الإحداثيات ١ ا : ١ ب : ∞ حـ ، موازى للمحور الرأسى حـ .



شكل (٣٤) شكل (٣٣)

ويسمى كل من هذه الإحداثيات تبعاً للفصيلة البلورية أو حسب عدد الأوجه التى يتطلبها التماثل فى هذه الفصيلة ، فمثلا يعرف ا : ب : ∞ حـ فى جميع الفصائل البلورية باستثناء المكعب ، باسم منشور Prism ويوصف كنشور رباعى أو منشور معينى قائم ، شكل(٣٤)، تبعاً للتماثل والفصيلة البلورية التى تنتمى إليها البلورة.

الأدلة Indices (جمع دليل Index) :

وهذه عبارة عن تعبيرات أو رموز مختصرة ومبسطة اشتقت من إحداثيات

الشكل البلورى ، وتستعمل عادة بدلا من الأحداثيات لتعبر عن علاقة الوجة أو الشكل البلورى (مجموعة أوجه متشابهة) بالمحاور البلورية. وهناك أكثر من نوع من الإدلة ، وسوف نستعمل فى دراستنا البلورية أدلة ميلر Miller indices لأنها الأكثر استعمالا . وتشتق أدلة ميلر من إحداثيات الشكل البلورى بأن ناخذ مقلوب reciprooal الاحداثيات ثم نتخلص من الكسور إن وجدت .

فنجد أن كدليل وجه الوحدة (إحداثياته ا : ب : حـ) .
هو $\frac{١}{١}$ ا : $\frac{١}{١}$ ب : $\frac{١}{١}$ حـ أو (١١١) ،سواء أكانت البلورة مكعبا أم ميول ثلاثة : وسواء أكانت التقاطعات التى يعملها الوجه على المحاور متساوية أم غير متساوية .

وفى البلورة السابق التحدث عنها ، وهى بلورة التوباز نجد أن :
إحداثيات الوجه هـَ بْ وَهى $\frac{١}{٢}$ ا : ب : ٢ حـ
الدليل (مقاوب الإحداثيات) هو ٢ ا : ب : $\frac{١}{٢}$ حـ
ويعطى التخلص من الكسور ٤ ا : ٢ ب : حـ
وعلى ذلك يكون دليل هذا الوجه والشكل التابع له هو ٤ ا : ٢ ب : حـ ، وعادة تحذف الحروف الدالة على المحاور البلورية المختلفة، ويكتب الدليل مبسطا هكذا ١٢٤ ، وينطق أربعة إثنين واحد ، ويكون دائما بالترتيب ا ثم ب ثم حـ .

والتعبير العام لدليل أى شكل بلورى هو (هـ ك ل) مع ملاحظة أن هـ تشير دائما إلى المحور س (الوحدة ا) ، ك تشير إلى المحور ص (الوحدة ب) ، ل تشير إلى المحور ع (الوحدة حـ) . وتبين لنا الامثلة التالية العلاقات بين الاحداثيات والأدلة :

الاحداثيات		الادلة
$\frac{١}{٢}$ ا : ∞ ب : ١ حـ	=	٢ ا : $\frac{١}{∞}$ ب : ١ حـ = ١٠٢
١ ا : ∞ ب : ٢ حـ	=	١ ا : $\frac{١}{∞}$ ب : $\frac{١}{٢}$ حـ = ١٠٢
— $\frac{١}{٢}$ ا : — $\frac{١}{٢}$ ب : ١ حـ	=	١ $\bar{٢}$ $\bar{٢}$

ويتضح من هذه الامثلة أن الادلة عبارة عن أعداد صحيحة ، وعادة صغيرة ، كما أن النسب بين تقاطعات الاوجة المختلفة على المحور الواحد فى البلورة نسب عددية بسيطة ، أى كنسبة ١ : ١ ، ٢ : ١ ، ٢ : ٣ . ولكن لا يمكن أن تكون ١ :

$\sqrt{2}$. وتعرف هذه العلاقة باسم قانون الادلة النسبية Law of rational indices والسبب فى هذا التحديد هو الترتيب والنظام فى بناء البلورة . فكما أن الاوجه البلورية تعتمد إعتماداً مباشراً على ترتيب الذرات داخل بناء البلورة ، فكذلك تتكون مواضعها الممكنة على البلورة محددة تماما . وعليه فإن تقاطعات أى وجه على المحاور البلورية يمكن التعبير عنها بواسطة مضاعفات عددية بسيطة rational multiples لطول الوحدات المحورية الاساسية (أى ثلاثة أمثال ، أو أربعة أمثال ، أو نصف ، إلخ ، ولكن لايمكن أن تكون $\sqrt{2}$ ، لان قيمة الجذر غير ثابتة، فقد تساوى ٤ر١ ، أو ٤١ر١، أو ٤١٤ر١ ،وهذا يتنافى مع البناء المنظم للبلورة وثبات المسافات بين الذرات فى أى إتجاه) .

وفى فصيلتى الثلاثى والسداسى، التى لبلوراتها ٣ محاور بلورية . يتحول التعبير العام إلى (هـ ك و̄ ل) وفيه تشير إلى الطرف السالب للمحور ط(الوحدة ا٣) وتساوى قيمة و قيمة هـ + ك أى أن و = هـ + ك .

الشكل البلورى : Crystal form .

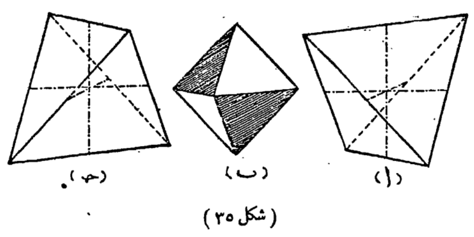
ويتكون من مجموعة الاوجة البلورية المتشابهة (شكلا وحجما)الموجودة على نموذج البلورة. فمثلا البلورة المبينة فى شكل (٣٣) يوجد بها شكل بلورى واحد فقط ، أما البلورة المبينة فى شكل (٣٤) فيوجد بها شكلان بلوريان. أما على البلورة الطبيعية (حيث الاوجة مشوهة) فيتكون الشكل البلورى من جميع الاوجه البلورية التى لها رمز واحد single symbol (مجموعة الإحداثيات أو الدليل)، وفى هذه الحالة يجب أن تدخل عناصر التماثل فى إعتبارنا . أو بعبارة أخرى يتكون الشكل البلورى من مجموعة الاوجه التى يستلزم وجودها عناصر التماثل فى البلورة وذلك إذا وجد على البلورة وجه واحد من هذه الاوجه ، فمثلا فى بعض الفصائل البلورية ذات التماثل العالى نجد أن (١١١) ، (١١١̄) يتبعان شكلا بلوريا واحداً، وفى فصائل أخرى ذات تماثل منخفض نجد أن(١١١)، (١١١̄)لايتبعان شكلا بلوريا واحداً . ولكن يتبعان شكلين مستقلين. والسبب فى ذلك أنه فى الحالة الأولى يوجد مستوى تماثل أفقى يعكس الوجه (١١١) إلى (١١١̄) ، أما فى الحالة الثانية فلا يوجد مستوى تماثل أفقى وبذلك لايرتبط الوجه (١١١) بالوجه (١١١̄) بأية رباط ، ويتبع الوجهان شكلين إثنين .

رمز الشكل Form symbol :

وهو عبارة عن دليل indices أحد أوجه الشكل البلورى الذى له أبسط علاقة مع المحاور البلورية . ويكتب رمز الوجه بين قوسين صغيرين هكذا ( ) مثل (٣٢١) ، أما رمز الشكل فيكتب بين قوسين كبيرين هكذا { } مثل { ٣٢١ }

الشكل الكامل الأوجه holohedral form : هو المجموعة الكاملة لجميع الأوجه الممكنة على البلورة التى لها نفس الأحداثيات والتى لها أوضاع هندسية متشابهة بالنسبة للمحاور البلورية ، شكل (٣٥ — ب) .

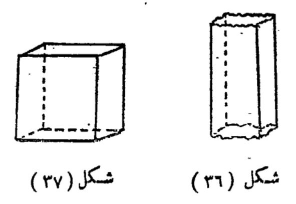
أما شكل نصف الأوجه hemihedral form فيتكون من نصف الأوجه التى يتطلبها التماثل التام ، ويشتق من الشكل الكامل بأن تترك الأوجه المتبادلة alternate faces . شكل (٣٥ — ١ ، حـ) .



(شكل ٣٥)

الشكل المفتوح open form : هو الشكل البلورى الذى لا تقفل الأوجه المكونة له الفراغ بمفردها ، ومن أمثلته الأوجه الأربعة لشكل المنشور ، شكل (٣٦) .

أما الشكل المقفول closed form : فهو الشكل البلورى الذى تقفل الأوجه المكونة له الفراغ بمفردها . ومن أمثلته الأوجه الستة المكونة لشكل المكعب ، شكل (٣٧) .



شكل (٣٦) شكل (٣٧)

مجموعات الأشكال Combinations of forms :

فى كثير من الحالات نجد أن الأوجه التى تظهر على البلورة لاتنتمى إلى شكل بلورى واحد ؛ بل إلى عدة أشكال ، شكل (٣٤) . أى أن هذه الأشكال تتكون مرة واحدة على البلورة ، وفى هذه الحالة ينتج مايعرف بأسم مجموعات الأشكال .

فصيلة المكعب او متساوى الطول

Cubic or Isometric System

المحاور البلورية

تشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التى لها ثلاثة محاور بلورية متساوية ومتعامدة. تمسك البلورة بحيث يكون أحد المحاور الثلاثة عمودياً والثانى يمتد من اليمين إلى اليسار والثالث يمتد من الأمام إلى الخلف. ولما كانت هذه المحاور الثلاثة متساوية فى طول وحداتها ومتعامدة فإنه لا يمكن تمييز إحداها عن الآخر ، ولذلك يرمز لها جميعا بالرمز ا ، شكل (٣٨) .

وتضم فصيلة المكعب خمسة نظم بلورية ، موضحة فى جدول (٤) .

شكل (٣٨)

النظام	قانون التماثل الكامل	مثال من المعادن	
سداسى الثمانى الأوجه	$\frac{٤^٣}{م}$ ٣^٤ $\frac{٢^٦}{م}$ ن	فلوريت	CaF_2
الأربعة وعشرون وجها مخمساً	٤^٣ ٣^٤ ٢^٦	—	
سداسى الرباعى الأوجه	٤^٣ ٣^٤ م^٦	سفاليريت	ZnS
الاثنا عشر وجها مزدوجاً	$\frac{٢^٣}{م}$ ٣^٤ ن	بيريت	FeS_2
رباعى الاوجه ذو الاثنى عشر وجها مخمساً	٢^٣ ٣^٤	كوبالتيت	$CoAsS$

جدول (٤) : النظم البلورية فى فصيلة المكعب

النظام العادى أو سداسي الثمانى الأوجه

Normal or Hexoctahedral Class

التماثل :

قانون التماثل الكامل : $\frac{٤^٣}{م}$ ٣^٤ $\frac{٢^٦}{م}$ ن

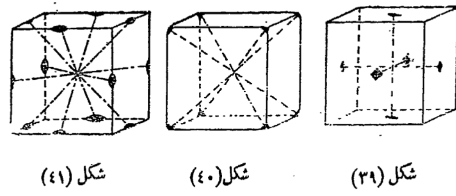
المحاور التماثلية : لبلورات هذا النظام ١٣ محوراً تماثلياً . أشكال (٣٩) ، (٤٠) ، (٤١) بيانها كالآتى:

ثلاثة محاور رباعية التماثل وهذه تنطبق على المحاور البلورية ،شكل (٣٩) .

أربعة محاور ثلاثية التماثل وهذه تميل على المحاور البلورية ، شكل (٤٠) .

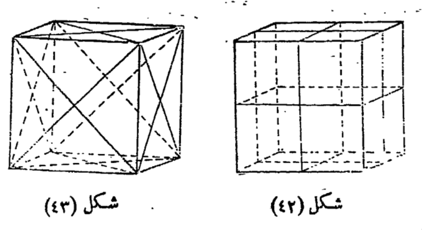
ستة محاور ثنائية التماثل موجودة فى المستويات التماثلية المحورية (المستويات التى تشمل المحاور البلــورية) ومنصفة للزوايا التى بين المحاور البلورية ، شكل (٤١) .

المستويات التماثلية: توجد فى هذا النظام تسعة مستويات تماثلية . ثلاثة منها موازية لمستويات المحاور البلورية وبالتالى تكون متعامدة على هذه المحاور ، شكل (٤٢) . هذه هى المستويات التماثلية المحورية . وهى تقسم الفراغ إلى



شكل (٣٩)　　　شكل (٤٠)　　　شكل (٤١)

ثمانية أجزاء متساوية يعرف كل جزء منها بالثمن . أما المستويات الستة الأخرى فإن كلا منها يوجد موازيا لأحد المحاور البلورية ومنصفاً للزاوية التى بين المحورين الآخرين ، شكل (٤٣) ، وعلى ذلك فهى تقسم الفراغ إلى ٢٤ جزءاً متساوياً ، وتقسم المستويات التماثلية التسعة متكاملة الفراغ إلى ٤٨ جزءاً متساوياً .



شكل (٤٢)　　　شكل (٤٣)

مركز التماثل . يوجد فى هذا النظام مركز تماثل ، وينتج عن ذلك أن يكون لكل وجه بلورى وجه مقابل موازى له .

الأشكال البلورية :

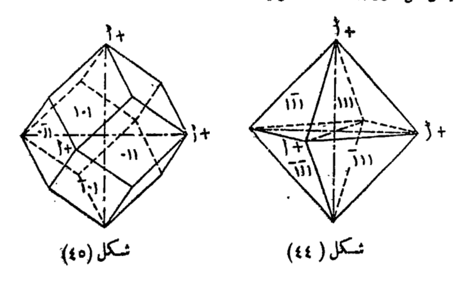
تسمى الأشكال المكعبة بأسماء خاصة حسب عدد الأوجه التى تكون كل شكل .

ثمانى الأوجه : Octahedron ، شكل (٤٤) : يتكون هذا الشكل البلورى — كما يدل عليه اسمه — من ثمانية أوجه ، كل وجه يميل ميلا متساوياً على المحاور

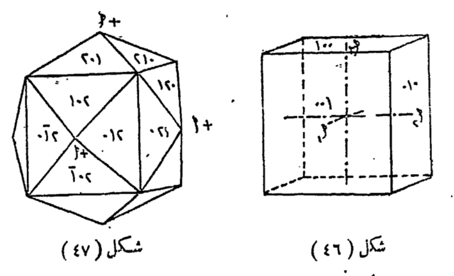
البلورية الثلاثة . وعلى ذلك تكون إحداثياته هى ١ : ١ : ١ والدليل {١١١}.
وكل وجه عبارة عن مثلث متساوى الاضلاع .

الاثنا عشر وجهاً معيناً Rhombic dodecahedron ، شكل (٤٥) :
يتكون من اثنى عشر وجها ، يقطع كل وجه اثنين من المحاور البلورية على نفس المسافة ، ويمتد موازيا للمحور الثالث . وعلى ذلك تكون الاحداثيات ١:١ : ∞١ ، والدليل هو {٠١١} . وعندما يكون هذا الشكل نموذجياً نجد أن كل وجه عبارة عن معين متساوى الأضلاع rhombus ؛ وتمر المحاور البلورية بالزوايا المكونة من أربعة أوجة ، أما المحاور الثلاثية التماثل فتمر بالزوايا الناتجة من تقابل ثلاثة أوجه ، وتصل المحاور ثنائية التماثل بين مراكز الأوجه المتقابلة .

سداسى الاوجه أو المكعب . Hexahedron or Cube ، شكل (٤٦) :
تقطع أوجه هذا الشكل محوراً بلورياً واحداً وتوازى المحورين الآخرين ، وعلى ذلك تكون الاحداثيات ١ : ∞١ : ∞١ والدليل هو {٠٠١} ويكون شكل الوجه على بلورة نموذجية مربعاً حيث تمر المحاور البلورية بمراكز هذه الأوجه أما المحاور الثلاثية التماثل فإنها تصل الزوايا الناتجة من تقابل ثلاثة أوجه ، وتنصف المحاور ثنائية التماثل الاثنى عشر حرفاً edge بين هذه الاوجه ، حيث يصل كل محور بين منتصف حرفين .

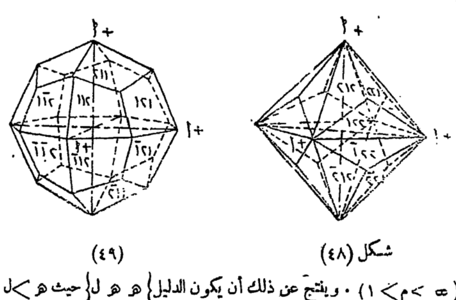


شكل (٤٥) شكل (٤٤)



شكل (٤٦)   شكل (٤٧)

ثلاثي الثماني الأوجه Trisoctahedron ، شكل (٤٨) تقطع أوجه هذا الشكل اثنين من المحاور البلورية على مسافتين متساويتين . أما تقاطع المحور الثالث فعلى مسافة أطول ، وتكون الاحداثيات إذن ا : ا : م ا حيث م عبارة عن عدد نسبي rational أكبر من الواحد ولكن أقل من ما لا نهاية



شكل (٤٨)   (٤٩)

(∞ > م > ١) . وينتج عن ذلك أن يكون الدليل { هـ هـ ل } حيث هـ > ل مثل {١٢٢} ويتكون الشكل من أربعة وعشرين وجها ، كل وجه منها عبارة عن مثلث متساوى الساقين .

الأربعة وعشرون وجها : (شبه المنحرف المكعبي) Icositetrahedron

شكل (٤٩) : يتكون هذا الشكل من أربعة وعشرين وجها، كل وجه عبارة عن شبه منحرف Trapezoid يقطع أحد المحاور البلورية على مسافة تساوى الوحدة ويقطع المحورين الآخرين على مسافتين متساويتين أكبر من الوحدة م ا ، حيث ∞ > م > ١ ، الأحداثيات هى ا : م ا : م ا ، والدليل هو { ه ل ل } حيث ه > ل مثل { ١١٢ } وتصل المحاور البلورية بين الزوايا المكونة من ثلاثة أوجه ، أما المحاور ثنائية التماثل فإنها تميل بين المحاور البلورية .

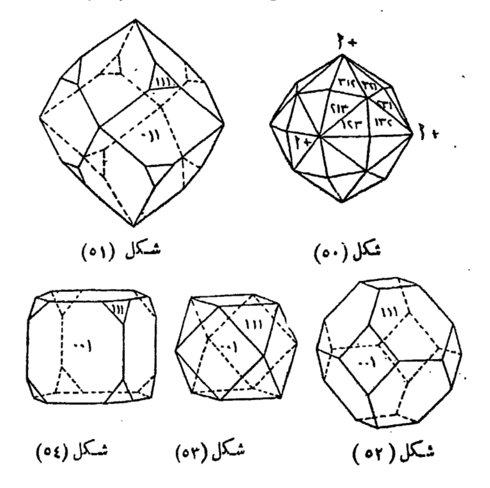
رباعى السداسى الاوجه Tetrahexahedron شكل (٤٧) : نجد فى هذا الشكل البلورى أن كل وجه يقطع محوراً بلورياً على مسافة تساوى الوحدة ، والثانى على مسافة أكبر مقدارها م ا حيث ∞ > م > ا ، ويوازى المحور الثالث . وتكون الأحداثيات إذن ا : م : ∞ ا ، والدليل هو { ه ل . } مثل { ٠١٢ } . ويتكون الشكل من أربعة وعشرين وجها، موزعة بحيث تحل كل أربعة أوجه محل وجه فى شكل سداسى الأوجه ، ويكون كل وجه منها عبارة عن مثلث متساوى الساقين . وتصل المحاور البلورية فى هذا الشكل بين الزوايا الست الناتجة من تلاقى أربعة أوجه لكل منها ، بينما تصل المحاور ثلاثية التماثل بين الزوايا المكونة من ستة أوجه ، أما المحاور ثنائية التماثل فإنها تنصف الأحرف الطويلة .

سداسى الثمانى الاوجه Hexoctahedron ، شكل (٥٠) يتكون هذا الشكل من ٤٨ وجها ، كل ستة أوجه تكونت مكان وجه من أوجه شكل الثمانى الأوجه ، ويقطع كل وجه أحد المحاور البلورية على مسافة مقدارها الوحدة، والمحورين الآخرين على مسافتين غير متساويتين ن ا ،م ا على التوالى ، وحيث ن أصغر من م ، وحيث ∞ > م > ا ، إذن الاحداثيات هى (ا : ن ا : م ا) والدليل هو { ه ك ل } حيث ه > ك > ل مثل { ١٢٣ } أو { ١٣٥ } . وتمر المحاور البلورية بالزوايا الناتجة من تلاقى ثمانى أوجه . وكل وجه فى هذا الشكل عبارة عن مثلث غير متساوى الاضلاع .

مجموعات الأشكال Combinations of forms :

فى كثير من الأحوال توجد الأشكال البسيطة سالفة الذكر مجتمعة مع بعضها البعض على البلورة الواحدة ، فقد يجتمع شكلان أو ثلاثة أو أربعة أو أكثر من ذلك على البلورة الواحدة ، ونتيجة لهذا التجمع قد يختلف شكل الوجه فى المجموعة عنه إذا كان منفرداً ، ومن أمثلة مجموعات الأشكال فى هذا النظام مايلى :

ثمانى الأوجه والاثنا عشر وجها معينا ، شكل (٥١) .
ثمانى الأوجه والمكعب ، شكل (٥٢) ، (٥٣) ، (٥٤) .
مكعب ورباعى السداسى الأوجه ، شكل (٥٥) .
ثمانى الأوجه والاثنا عشر وجها معينا والمكعب ، شكل (٥٦) .
الاثنا عشر وجها معينا والأربعة وعشرون وجها منحرفاً ، شكل (٥٧) .
الاثنا عشر وجهاً معينا وثلاثى الثمانى الأوجه ، شكل (٥٨) .

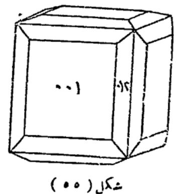


شكل (٥١)   شكل (٥٠)

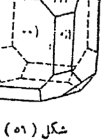
شكل (٥٤)   شكل (٥٣)   شكل (٥٢)

أمثلة من المعادن

ماجنتيت Magnetite (Fe_3O_4) شكل (٥١) ؛ فرانكلينيت Franklinite (Fe_2O_4) (Zn,Mn) ؛ جالينا Galena (PbS) شكل (٥٢) ، (٥٣) ، (٥٤) ؛

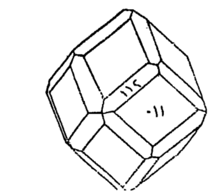


شكل (٥٥)

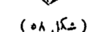


شكل (٥٦)

فلوريت Fluorite(CaF_2) ؛ هاليت Halite (NaCl) شكل (٥٤) ، جارنت Garnet ($Fe_3Al_2Si_4O_2$) شكل(٥٧)، (٥٨) ؛ يورانينيت Uraninite(UO_2)؛



شكل (٥٧)



(شكل ٥٨)

النحاس (Cu) ؛ أرجنتيت Argentite (AgS_2) ؛ أنالسيت Analcite ($NaAlSi_2O_6 \cdot H_2O$) ؛ لوسيت Leucite ($KAlSi_2O_6$). ويلاحظ بصفة عامة أن شكل المكعب يغلب تواجده على بلورات الهاليت والفلوريت بينما يغلب شكل ثمانى الأوجه على بلورات الماجنتيت والفرانكلينيت. أما شكل الاثنى عشر وجها معينا فيغلب تواجده على بلورات الجارنت، بينما يغلب وجود شكل الأربعة وعشرون وجها منحرفاً على بلورات اللوسيت والأنالسيت والجارنت.

مميزات البلورات المكعبية

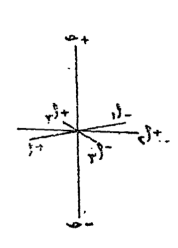
تتميز البلورات المكعبية غير المشوهه بتساوى أبعادها فى اتجاهات ثلاثة متعامدة على بعضها البعض . وهذه الاتجاهات الثلاثة هى المحاور البلورية . وكذلك تتميز البلورات المكعبية جميعها بوجود أربعة محاور ثلاثية التماثل . وتظهر البلورات عموماً أوجهاً مربعة الشكل أو مثلثات متساوية . كما تتميز البلورات بعدد كبير من الأوجه المتشابهة إذ أن أقل عدد من الأوجه يتبع شكلا واحدا هو ستة فى نظام سداسى الثمانى الأوجه . وكل شكل بلورى يمكن أن يكون بلورة بمفرده ، أى أنه عبارة عن شكل مقفول .

فصيلة السداسى

Hexagonal System

المحاور البلورية

تشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التى لها أربعة محاور بلورية ثلاثة منها متساويه فى الطول وتقع فى مستوى أفقى وتتقاطع بزوايا قدرها ١٢٠°، أما المحور الرابع فيختلف عنها فى الطول (إما أن يكون أطول أو أقصر) ويمتد رأسيا (أى متعامداً على المحاور الأفقية) ويرمز إلى المحاور الأفقية بالرموز أ١، أ٢، أ٣. أما المحور الرأسى فهو المحور حـ ؛ شكل (٥٩).



شكل (٥٩)

ولما كانت فصيلة الثلاثى لها نفس العدد من المحاور البلورية ، فان بعض المؤلفين يضم البلورات الثلاثية والسداسية فى فصيلة واحدة هى فصيلة السداسى، ولكن نظراً للفارق الأساسى فى البناء الذرى ، وهو أن المحور الأساسى للتماثل هو سداسى فى بلورات السداسى وثلاثى فى بلورات الثلاثى وأن بلورات الثلاثى لا تحتوى على مستوى تماثل أفقى بالمرة ، فإننا نجد أنه من الأكثر صواباً أن

ندرس البلورات السداسية كفصيلة بذاتها ، مستقلة عن فصيلة الثلاثى التى تشمل البلورات الثلاثية .

وتعرف نسبة طول الوحدات على المحور حـ إلى ا بالنسبة المحورية حـ : ا ، وهى مميزة لكل بلورة سداسية . فمثلا بلورة معدن بيرل Beryl لها نسبة محورية حـ : ا = ٠ر٩٩٦ ؛ أما فى معدن بيروتيت Pyrrhotite فنجد أن النسبة المحورية حـ : ا = ٠ر١٦٥٠ .

وتمسك البلورة السداسية بحيث يكون المحور الرأسى حـ دائماً محوراً سداسى التماثل (دورانى أو انقلابى). ويمتد المحور $ا_٢$ موازياً لماسك البلورة من اليمين (+) إلى اليسار (—) . أما المحور $ا_١$ فيمتد من الأمام ناحية اليسار (+) إلى الخلف ناحية اليمين (—) . أما الطرف الموجب من المحور $ا_٣$ فيقع فى الخلف إلى اليسار بينما طرفه السالب يقع فى الأمام إلى اليمين ، شكل (٥٩) .

وتشمل فصيلة السداسى سبعة نظم بلورية ، هى كما يلى ، جدول (٥) :

النظام	قانون التماثل الكامل	مثال من المعدن
الهرم المنعكس السداسى المزدوج	$\frac{٦}{م}$ $\frac{٢^{٦}}{م}$ ن	بيريل $Be_3Al_2Si_6O_{18}$
شبه منحرف الأوجه السداسى	٦ $٢^{٣}$ $٢^{٣}$	كوارتز عالى الحرارة
الهرم المنعكس الثلاثى المزدوج	$\bar{٦}$ $٢^{٣}$ $م^{٣}$	بنيتويت $BaTiSi_3O_9$
الهرم السداسى المزدوج	٦ $٢^{٣}$ $م^{٣}$	ZnO زنكيت
الهرم المنعكس السداسى	$\frac{٦}{م}$ ن	أباتيت
الهرم المنعكس الثلاثى	$\bar{٦}$	—
الهرم السداسى	٦	نيفيلين

جدول رقم (٥) النظم البلورية فى فصيلة السداسى

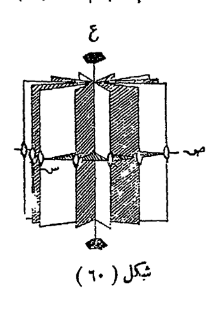
النظام العادى أو نظام الهرم المنعكس السداسي المزدوج

Dihexagonal Bipyramidal Class

التماثل :

قانون التماثل الكامل : $\frac{٦}{م} \frac{٢^٣}{م} \frac{٢^٣}{م}$ ن . شكل (٦٠) .

المحاور التماثلية : المحور حـ هو محور سداسى التماثل . وتوجد ثلاثة محاور أفقية ثنائية التماثل تنطبق على المحاور البلورية ا . وكذلك توجد ثلاثة محاور أخرى ثنائية التماثل تنصف الزوايا بين المحاور البلورية $ا_١$ ،$ا_٢$،$ا_٣$ شكل(٦٠)



شكل (٦٠)

المستويات التماثلية : يوجد فى هذا النظام سبعة مستويات تماثلية بيانها كالآتى، شكل (٦٠) :

- مستوى تماثل أفقى يشمل المحاور البلورية . ثلاثة مستويات تماثلية رأسية يشمل كل منها المحور الرأسى حـ وأحد المحاور البلورية الأفقية، ثلاثة مستويات تماثلية رأسية تنصف الزوايا بين المستويات الرأسية السابقة (المستويات التماثلية المحورية) .

مركز التماثل : يوجد مركز تماثل فى بلورات هذا النظام ويتطلب ذلك أن يكون لكل وجه وجه آخر مقابل له .

الأشكال البلورية

ملاحظة : سوف نستعمل كلمة مزدوج di ، مثل سداسى مزدوج dihexagonal ، لوصف الأشكال التى تتكرر أوجهها اثنين اثنين حول المحور التماثلى ، أما الأشكال التى تتكرر أوجهها بالنسبة للمستوى التماثلى فسوف نصفها

بكلمة منعكس bi ، مثل هرم منعكس bipyramid ، نسبة إلى الانعكاس خلال مستوى التماثل الأفقى .

الأهرامات المنعكسة Bipyramids وهذه عبارة عن اشكال مقفولة تقطع أوجهها المحور حـ بصفة أساسية وبعض أو كل المحاور الأفقية . توجد ثلاثة أنواع من الأهرامات المنعكسة السداسية .

هرم منعكس سداسى من الرتبة الأولى (أو هرم منعكس وترى) شكل (٦١)

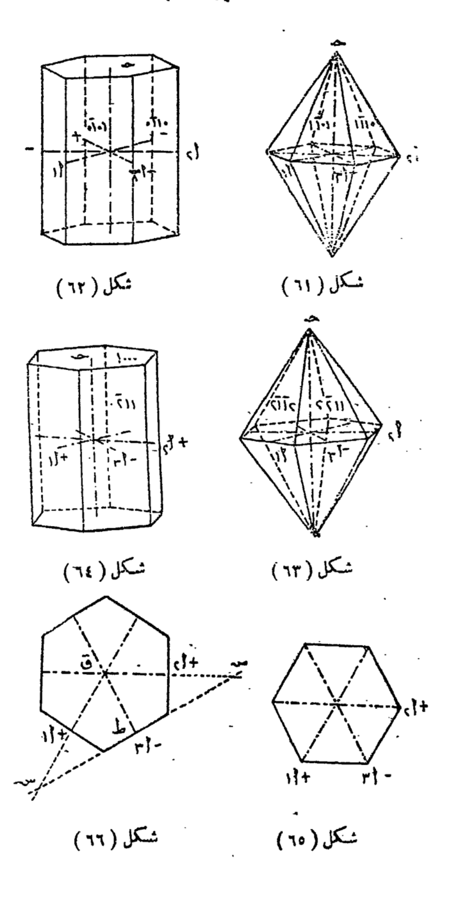
Hexagonal bipyramid of the first order (Chord bipyramid)

يتكون هذا الشكل من ١٢ وجهاً لها الأحداثيات (١ : ∞ ١ :١: م حـ)، أو بمعنى آخر تقطع محورين متجاورين ١ (تصل بينهما مثل الوتر) شكل (٦٥) وتمتد موازية للمحور الافقى الثالث وتقطع المحور الرأسى حـ. فإذا كان التقاطع على المحور حـ مساوياً لطول الوحدة فإن الدليل يكون فى هذه {١٠١̅١} وهذا هو هرم الوحدة unit bipyramid . أما الدليل العام لهذا الشكل فهو { هـ . هـ̅ ل }

هرم منعكس سداسى من الرتبة الثانية (أو هرم منعكس متعامد) شكل (٦٣)

Hexagonal bipyramid of the second order (Normal bipyramid)

يختلف هذا الشكل عن الهرم المنعكس السداسى من الرتبة الأولى فى أنه عندما تمسك البلورة فى القراءة الصحيحة (المحور ا٢ دائماً موازى لماسك البلورة) فإنه يوجد فى مواجهتك حرف وليس وجه بلورى ، وهذا يعنى أن المحاور البلورية الأفقية عمودية ومنصفة للاحرف الأفقية (ويسمى لهذا السبب بالهرم المنعكس المتعامد) شكل (٦٦) ، ونجد ، كما فى شكل (٦٦) ، أن كل وجه بلورى فى هذا الشكل يقطع أحد المحاور البلورية الأفقية فى مسافة الوحدة ويقطع المحورين الآخرين على مسافتين أطول ، ولكن متساويتين ، وتكون الأحداثيات إذن (ن ا : ن ا : ا : م حـ) والدليل هو { هـ هـ ٢ هـ ل } ، ويتكون هذا الشكل من ١٢ وجها فى هيئة مثلثات متساوية الساقين تقفل الفراغ .



شكل (٦١)

شكل (٦٢)

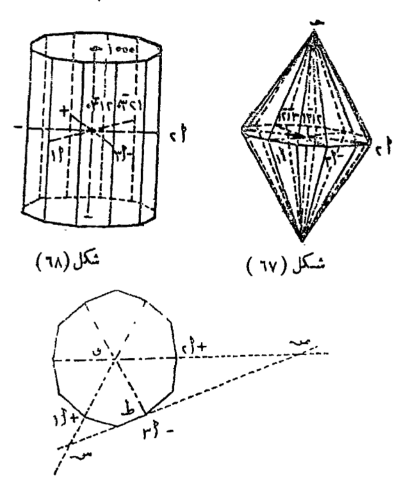
شكل (٦٣)

شكل (٦٤)

شكل (٦٥)

شكل (٦٦)

هرم منعكس سداسى مزدوج Dihexagonal bipyramid . شكل (٦٧) :
تقطع أوجه هذا الشكل المحاور الأفقية الثلاثة ا١ ، ا٢ ، ا٣ فى مسافات غير متساوية ، وتكون الإحداثيات إذن هى (ں ا : ط ا : ا : م ح) ، شكل (٦٩) والدليل هو (ه ك ى ل) . ويتكون هذا الشكل من ٢٤ وجهاً ، كل وجه منها فى الحالة النموذجية يكون فى هيئة مثلث غير متساوى الأضلاع ، ولكن المثلثات كلها متشابهة . فى إحداثيات هذا الشكل نجد أن ط = ن ÷ (١ — ن)



شكل (٦٨)   شكل (٦٧)

شكل (٦٩)

المنشورات Prisms . وهذه عبارة عن أشكال مفتوحة يوازى الوجه فيها المحور ح ويقطع بعض أو كل المحاور الأفقية ا١ ، ا٢ ، ا٣ . وهناك ثلاثة أنواع من المنشورات تقابل الأنواع الثلاثة من الأهرامات سالفة الذكر .

منشور سداسى من الرتبة الأولى (منشور سداسى وترى) شكل (٦٢)-
Hexagonal prism of the first order (Chord prism)

يمكن الحصول على أوجه هذا الشكل من أوجه الهرم المنعكس الذى له نفس الرتبة (الأولى فى هذه الحالة) إذا جعلنا التقاطعات على المحور حـ تاخذ أكبر قيمة لها، أى قيمة مالانهاية. وينتج عن ذلك أن تختزل أوجه الهرم المنعكس الاثنتا عشر إلى ستة أوجه فقط، يقطع كل وجه منها محورين أفقيين فى مسافة تساوى الوحدة ويمتد موازياً للمحور الأفقى الثالث ا، ويوازى المحور حـ (المنشور بحكم تعريفه يوازى المحور حـ). ويكون هذا المنشور شكلا مفتوحاً وفيه تصل المحاور الأفقية ا بين منتصف الحروف المتقابلة، وينتج عن ذلك أن يكون فى مواجهة ماسك البلورة وجهاً بلورياً. الأحداثيات (ا:∞ا:ا: ∞حـ) والدليل { ١٠ $\bar{1}$ ٠ }

منشور سداسى من الرتبة الثانية (منشور سداسى متعامد) شكل (٦٤).

Hexagonal Prism of the second order (Normal Prism)

تجد فى هذا الشكل البلورى أن المحاور البلورية الافقية $ا_1$، $ا_2$، $ا_3$ تصل بين مراكز الأوجه المتقابلة، ويكون فى مواجهة ماسك البلورة نتيجة لذلك حرفا. الاحداثيات هى (٢ا : ٢ا : ا : ∞ حـ) والدليل هو { $\bar{2}$١١ ٠ }.

يتكون هذا الشكل من ستة أوجه لا تقفل الفراغ (شكل مفتوح).

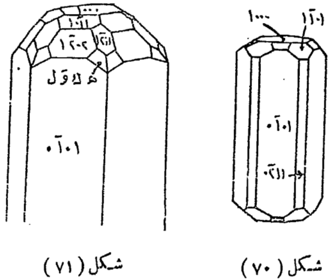
منشورسداسى مزدوج Dihexagonal Prism. شكل(٦٨) شكل مفتوح يتكون من ١٢ وجها يتساوى كل وجهين متبادلين فيه (أى واحد بعد واحد) فى الزوايا والحروف. الاحداثيات(ن ا : ط ا: ا: ∞حـ) والدليل هو (هـ ك $\bar{و}$ ٠). ويقابل هذا الشكل الهرم المنعكس السداسى المزدوج.

المسطوح القاعدى Basal Pinacoid : وهو عبارة عن شكل مفتوح مكون من وجهين، كل وجه يقطع المحور حـ ويوازى المحاور الافقية ا. الاحداثيات (∞ا ∞: ا : ∞ا : حـ) والدليل هو {٠٠٠١}. يرى المسطوح القاعدى فى الاشكال (٦٢)، (٦٤)، (٦٨) مجموعا مع المنشورات.

مجموعات الاشكال :

توجد على بعض البلورات مجموعة من الاشكال البلورية المختلفة. فمثلا فى بلورة

بيريل Beryl ، شكل (٧٠) ، توجد مجموعة من هرم منعكس سداسى من الرتبة الأولى وآخر من الرتبة الثانية ، ومنشور سداسى من الرتبة الأولى وآخر من الرتبة الثانية ، ومسطوح قاعدى . وفى شكل (٧١) نلاحظ مجموعة أخرى من الأشكال على بلورة أخرى لمعدن البيريل .



شكل (٧٠)　　　　شكل (٧١)

أمثلة من المعادن: يتبلور معدن بيريل Beryl ($Be_3Al_2Si_6O_{18}$) شكل (٧٠) ، (٧١) فى هذا النظام الكامل التماثل . كذلك يتبلور فى هذا النظام معادن موليبدينيت Molybdenite (MoS_2) ، بيروتيت Pyrrhotite (FeS).

مميزات البلورات السداسية :

تتميز جميع البلورات السداسية غير المشوهة فى النظام كامل التماثل وفى معظم النظم الأقل تماثلا بالمظهر السداسى حيث يكون المحور الرأسى محوراً دورانيا سداسى التماثل . ولكن فى نظامين فقط قد تبدو البلورات ثلاثية المظهر حيث يكون المحور الرأسى محوراً إنقلابياً سداسى التماثل ، وفى هذين النظامين يكون هناك دائماً مستوى تماثل أفقى يعكس (أو يكرر) الاشكال البلورية العليا إلى أشكال بلورية سفلى (فى النصف الاسفل للبلورة) [المعروف أن المحور الانقلابى السداسى يعادل محور دورانى ثلاثى متعامد على مستوى تماثل] . كما تتميز البلورات بأن أوجه الأشكال البلورية (بأستثناء المسطوح القاعدى) تتكون عموما من ستة أوجه أو مضاعفات العدد ستة .

فصيلة الرباعي

Tetragonal System

المحاور البلورية :

تشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التي لها ثلاثة محاور بلورية متعامدة ، إثنان منها متساويان في الطول ويقعان في مستوى أفقي والثـــالث يختلف عنهما في الطـــول (إما أقصر أو أطول) وعمودي عليهمـا . ويرمز إلى المحورين المتساويين بالرمز $ا_١$ ، $ا_٢$ ، أما المحور الرأسي فيرمز إليه بالرمز حـ ، شكل (٧٢) .

شكل (٧٢)

وتعرف نسبة طول الوحدة على المحور حـ إلى طول الوحدة على المحور ا بالنسبة المحورية حـ : ا وهي مميزة لكل بلورة رباعية . فمثلا بلورة معدن كاسيتريت Cassiterite (SnO_2) لها نسبة محورية حـ : ا = ٦٧٢ر (أي حـ أقصر من ا) وفي الزرقون Zircon ($ZrSiO_4$) حـ : ا = ٨٩١ر. أما في معدن أناتيز Anatase (TiO_2) فنجد أن نسبة حـ : ا = ١ر٧٧٧ (أي حـ أطول من ا) .

وتمسك البلورة الرباعية بحيث يكون المحور الرأسي حـ دائماً محور رباعي التماثل (دواني أو انقلابي) .

وتشمل فصيلة الرباعي سبعة نظم بلورية (مثل فصيلة السداسي) ، كما يلي : جدول (٦) .

النظام	قانون التماثل الكامل	مثال من المعادن
الهرم المنعكس الرباعى	$\frac{٤}{م}\ \frac{٢^{٤}}{م}$ ن	الزرقون $ZrSiO_4$
شبه منحرف الأوجة الرباعى	٤ $٢^{٢}$ $٢^{٢}$	فوسجينيت $(PbO)_2CCl_2O$
الوتد المنعكس الرباعى	$\bar{٤}$ $٢^{٢}$ $٢^{٢}$	كالكوبيريت $CuFeS_2$
الهرم الرباعى المزدوج	٤ $م^{٢}$ $م^{٢}$	ديابوليت $Pb_2CuCl_2(OH)_4$
الهرم المنعكس الرباعى	$\frac{٤}{م}$ ن	شيليت $CaWO_4$
الوتد الرباعى	$\bar{٤}$	كاهنيت
الهرم الرباعى	٤	ولفينيت $PbMoO_4$

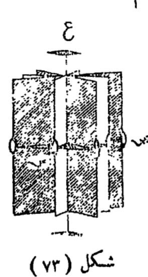
جدول (٦) النظم البلورية فى فصيلة الرباعى

النظام العادى أو نظام الهرم المنعكس الرباعى المزدوج

Ditetragonal Bipyramidal Class

التماثل

قانون التماثل الكامل : $\frac{٤}{م}\ \frac{٢^{٢}}{م}\ \frac{٢^{٢}}{م}$ ن ، ر ، $\frac{٤}{م}\ \frac{٢^{٤}}{م}$ ن ، شكل (٧٣) .



شكل (٧٣)

المحاور التماثلية : يوجد محور واحد رباعى التماثل منطبق على المحور البلورى حـ ، وأربعة محاور ثنائية التماثل ، إثنان منها ينطبقان على المحورين $ا_1$ ، $ا_2$ والإثنان الآخران ينصفان الزوايا بين المحورين $ا_1$ ، $ا_2$.

المستويات التماثلية : يوجد مستوى تماثل أفقى يشمل المحاور الأفقية $ا_1$ ، $ا_2$ (وعمودى

على المحور حـ) وأربعة مستويات تماثلية رأسية تمر بالمحور حـ ، إثنان يشملان المحوران ا$_1$ ، ا$_2$ (بالإضافة إلى حـ) والاثنان الآخران ينصفان الزوايا بين هذين المحورين .

مركز التماثل : لبلورات هذا النظام مركز تماثل .

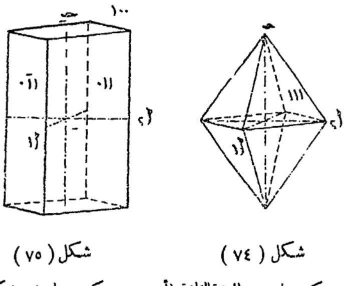
الاشكال البلورية

الاهرامات المنعكسة: Bipyramids : وهذه عبارة عن أشكال مقفولة تقطع أوجهها المحور حـ، وأحد المحورين الأفقيين ا$_1$ أو ا$_2$ ، أو كليهما . توجد ثلاثة أنواع من الأهرامات المنعكسة الرباعية مثل الثلاثة التي سبق أن ذكرناها في فصيلة السداسي .

هرم منعكس رباعي من الرتبة الأولى (أو هرم منعكس وترى) :

Tetragonal bipyramid of the I-st order (Chord bipyramid)

شكل (٧٤) ، يماثل هذا الشكل شكل ثماني الأوجه في فصيلة المكعب، ولكن نظراً لأن المحور حـ يخالف في الطول المحورين الأفقيين ا فإن التقاطعات النسبية تكون ا : ا : حـ والتي تدل على أن وجه هذا الشكل يقطع المحاور البلورية الثلاثة في مسافات الوحدة. ويكون هذا الشكل إذن هو شكل الوحدة unit form. ولما كان التقاطع على المحور حـ قد يكون أقصر أو أطول من طول الوحدة، لذلك تكون الاحداثيات ا : ا: م حـ، والدليل (هـ هـ ل)، حيث م هي قيمة عددية بين الصفر وما لا نهاية. يكون هذا الهرم شكلا مقفولا من ثمانية أوجه ، كل وجه منها في هيئة مثلث متساوي الساقين (وليس متساوي الاضلاع مثل ثماني الأوجه)



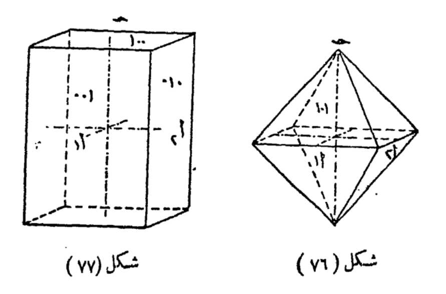
شكل (٧٥)　　　　　　شكل (٧٤)

هرم منعكس رباعى من الرتبة الثانية (أو هرم منعكس متعامد) ، شكل(٧٦)

Tetragonal bipyramid of the second order (Normal bipyramid)

تقطع أوجه هذا الشكل المحور حـ وأحد المحورين ا، وتمتد موازية للمحور ا الآخر. وعلى ذلك تكون الأحداثيات (ا : ∞ ا : م حـ) والدليل هو {هـ . ل}. يتكون الشكل من ثمانية أوجه تقفل الفراغ بمفردها .

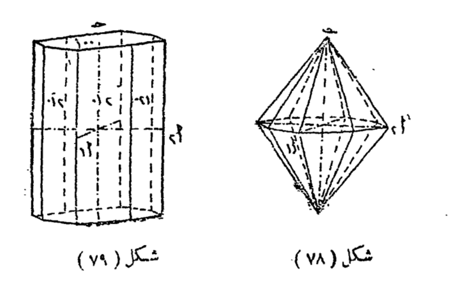
(ملاحظة : يلاحظ أنه فى حالة الهرم المنعكس الوترى يواجه ماسك البلورة حرف ، فى حين يواجه الهرم المنعكس المتعامد ماسك البلورة بوجه) .



شكل (٧٧)　　　　　　شكل (٧٦)

هرم منعكس رباعى مزدوج Ditetragonal bipyramid شكل (٧٨)

تقطع أوجه هذا الشكل المحورين الأفقيين ا$_1$ ، ا$_2$ فى مسافتين مختلفتين ، فى حين يكون التقاطع على المحور حـ إما مساويا للوحدة أو أكبر من ذلك (م حـ). الاحداثيات (ا : ن ا : م حـ) ، الدليل { هـ ك ل } . يتكون هذا الشكل من ١٦ وجهاً ، كل منها فى هيئة مثلث غير متساوى الاضلاع .



شكل (٧٨)　　　　شكل (٧٩)

المنشورات Prisms

توجد ثلاثة أنواع من المنشورات الرباعية مثل الأنواع الثلاثة التى سبق أن ذكرناها فى فصيلة السداسى .

منشور رباعى من الرتبة الأولى (منشور رباعى وترى) شكل (٧٥) :
Tetragonal prism of the first order (Chord prism)

يتكون هذا الشكل المفتوح من أربعة أوجه موازية للمحور حـ ولكنها تقطع كلا من المحورين ا$_1$ ، ا$_2$. الاحداثيات (ا : ا : ∞ حـ) والدليل { ١١٠ }، ونجد أن المحورين ا$_1$ ، ا$_2$ يصلان بين منتصف الحروف المقابلة ، وعلى ذلك يكون هناك حرفا مواجها للماسك البلورة عندما يكون المحور ا$_1$ ممتداً من الأمام إلى الخلف .

منشور رباعى من الرتبة الثانية (منشور رباعى متعامد) شكل (٧٧) :

Tetragonal prism of the second order (Normal prism)

يتكون هذا الشكل المفتوح من أربعة أوجه موازية للمحور حـ ، وكذلك موازية لأحد المحورين ا١ ، ا٢ . الاحداثيات (ا : ∞ ا : ∞ حـ) والدليل {٠١٠}.
فى هذا الشكل نجد أن المحورين البلوريين ا١ ، ا٢ يصلان بين منتصف كل وجهين متقابلين .

منشور رباعى مزدوج Ditetragonal Prism ، شكل (٧٩) :

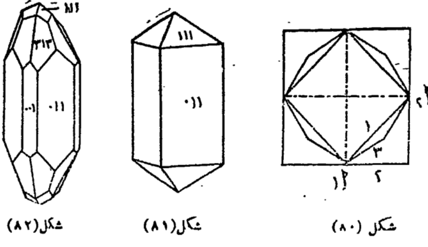
يتكون هذا الشكل المفتوح من ثمانية أوجه مرتبة فى هيئة أربعة أزواج حول محور التماثل الرباعى . الاحداثيات (ا : ن ا : ∞ حـ) والدليل {هـك }.
يوضح شكل (٨٠) وضع أشكال الرتبة الأولى والثانية والأشكال المزدوجة بالنسبة للمحاور البلورية الأفقية ا١ ، ا٢ .

المسطوح القاعدى Basal Pinacoid : ويعرف فى بعض الأحيان بالاسم المبسط «قاعدة» base ويتكون من وجهين موازيين لمستوى التماثل الأفقى . الأحداثيات (∞ا : ∞ا : جـ) والدليل {١٠٠} . وهذا الشكل ، مثل المنشورات ، شكل مفتوح لا يوجد بمفرده وإنما يكون موجوداً مع أشكال أخرى ، مثل المنشورات شكل (٧٥) ، (٧٧) ، (٧٩) .

مجموعات الأشكال : Combinations of forms ، شكل (٨١) ، (٨٢):

تظهر مجموعات مختلفة من الأشكال الرباعية على كثير من بلورات المعادن . فمثلا يوجد على بلورة الزرقون Zircon ، شكل (٨١) ، مجموعة من المنشور الوترى {٠١١} ، والهرم المنعكس الوترى {١١١} . وقد تظهر بلورات أخرى من الزرقون مجموعة من منشورات الرتبة الأولى والرتبة الثانية مع الهرم المنعكس من الرتبة الأولى والهرم المنعكس الرباعى المزدوج ، شكل (٨٢) .

أمثلة من المعادن : زرقون Zircon ($ZrSiO_4$) شكل (٨١) ، (٨٢) ؛ روتيل Rutile (TiO_2) ؛ كاسيتريت Cassiterite (SnO_2).



شكل (٨٠) شكل(٨١) شكل(٨٢)

مميزات البلورات الرباعية :

تتميز البلورات الرباعية بوجود محور رباعي التماثل (دوراني أو انقلابي) ينطبق دائما مع المحور البلوري الرأسي (حـ) ، ويكون طول البلورة في هذا الاتجاه إما أكبر أو أقل من البعدين الآخرين ($ا_١$، $ا_٢$). وفي معظم النظم التابعة لهذه الفصيلة البلورية يكون المقطع المستعرض العمودي على المحور الرأسي الرباعي في البلورات كاملة الأوجه غير المشوهة في شكل مربع كامل أو مربع تقطع زواياه القائمة أوجه الأشكال المختلفة.

فصيلة الثلاثي

Trigonal System

المحاور البلورية

تتميز بلورات هذه الفصيلة بوجود محور واحد ثلاثي التماثل وعدم وجود مستوى تماثل أفقي ،شكل(٨٣) . وقد سبق أن أشرنا عند بدء الحديث عن فصيلة السداسي إلى العلاقة بين فصيلتي السداسي والثلاثي واشتراكهما في وجود أربعة محاور بلورية في بلوراتها ($ا_١$، $ا_٢$، $ا_٣$، حـ) حيث تتقاطع المحاور ا في زوايا مقدارها ١٢٠°، أما المحور حـ فتتعامد عليها ويختلف عنها في الطول (إما أطول أو أقصر) .

شكل (٨٣)

ونتيجة لهذه العلاقة فإننا نجد أن بعض الأشكال البلورية السداسية (مثل المنشورات السداسية من الرتبة الأولى والثانية) توجد فى كل من هاتين الفصيلتين.

وتشمل فصيلة الثلاثى خمس نظم بلورية ، جدول (٧) .

النظام	قانون التماثل الكامل	مثال من المعادن
مثلثى الأوجه الثلاثى المزدوج	$\bar{٣}\ \frac{٢^{٣}}{م}$	كالسيت
شبه منحرف الأوجه الثلاثى	$٣\ ٢^{٣}$	كوارتز منخفض الحرارة
الهرم الثلاثى المزدوج	$٣\ م^{٣}$	تورمالين
معينى الأوجه	$\bar{٣}$	دولوميت $CaMg(CO_3)_2$
الهرم الثلاثى	٣	جراتونيت

جدول (٧) : النظم البلورية فى فصيلة الثلاثى

نظام المثلثات الوجهية الثلاثية المزدوجة

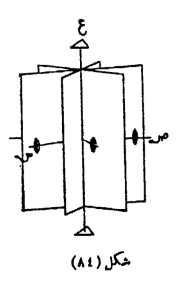
Ditrigonal Scalenohedral Class

التماثل

قانون التماثل الكامل

$\bar{٣}\ \frac{٢^{٣}}{م}$ ، شكل (٨٤)

تتكون عناصر التماثل فى هذا النظام من محور واحد فقط ثلاثى التماثل انقلابى ينطبق على المحور البلورى حـ ($\bar{٣}$ = ٣ + ن) ، وثلاثة محاور أفقية ثنائية التماثل عمودية على ثلاثة مستويات تماثلية رأسية .



شكل (٨٤)

وتنطبق المحاور ثنائية التماثل على المحاور البلورية ا١ ، ا٢ ، ا٣ ، شكل (٨٤) .

الأشكال البلورية

توجد الأشكال السداسية التالية فى هذا النظام الثلاثى الكامل التماثل :

المسطوح القاعدى : {١٠٠٠} يتكون من وجهين.

المنشور السداسى من الرتبة الأولى : {١٠١̄٠} يتكون من ستة أوجه .

المنشور السداسى من الرتبة الثانية : {١١٢̄٠} يتكون من ستة أوجه .

المنشور السداسى المزدوج : {هـ ك و̄ ٠} يتكون من اثنى عشر وجها.

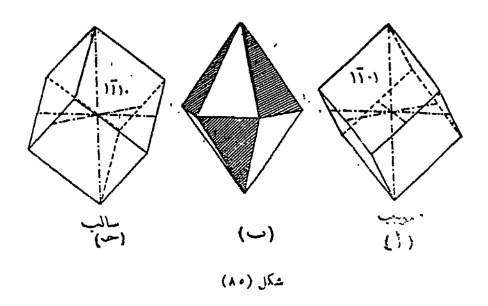
الهرم المنعكس السداسى من الرتبة الثانية : {هـ هـ ٢هـ̄ ل} يتكون من ١٢ وجها.

والمعروف أن هذه الأشكال سالفة الذكر توجد فى فصيلة السداسى أيضاً (النظام الكامل التماثل) ، أى أن هذه الأشكال مشتركة بين الفصيلتين، والسبب فى ذلك ، كما أن سبق قلنا ، هو العلاقة البلورية بين الفصيلتين ، واشتراكهما فى أربعة محاور بلورية .

أما الشكلان التاليان فلا يوجدان فى فصيلة السداسى وإنما تنفرد بهما فصيلة الثلاثى . هذان الشكلان هما معينى الأوجه Rhombohedron ومثلثى الأوجه الثلاثى المزدوج Ditrigonal scalenohedron .

معينى الأوجه Rhombohedron : معينى الأوجه شكل مقفول تحده ستة أوجه معينية ، شكل (٨٥ – ا ، حـ) وفى هذا الشكل نجد أن الأوجه الثلاثة العليا ليست فوق الأوجه الثلاثة السفلى مباشرة ، أى أن هذا الشكل البلورى ليس هرماً منعكساً ، ولكنه شكل معينى الأوجه . ويمكن أن ننظر إلى معينى الأوجه على أنه مشتق من الهرم المنعكس السداسى، شكل (٨٥ – ب) ، وذلك باختيار الأوجة العليا والسفلى المتبادلة (أى وجه علوى ثم الوجه السفلى الذى يليه ثم الوجه العلوى الذى يليه وهكذا) ، ويصل المحور حـ بين الزاويتين المتساويتين الثلاثية الأوجه (أى الزوايا التى تتكون نتيجة لتلاقى ثلاثة أوجه) وهذا المحور

محور إنقلابى ثلاثى التماثل ، أما المحاور الأفقية ا$_{١}$ ، ا$_{٢}$ ، ا$_{٣}$ ، فإنها تصل بين منتصف الأحرف الوسطى المتقابلة .

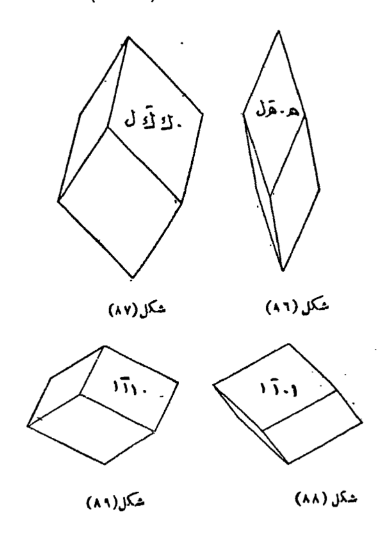


شكل (٨٥)

ويتوقف حجم معينى الأوجه على نسبة ا : حـ (يمكن اعتبار المكعب المسوك بطريقة تجعل أحد محاوره الثلاثية التماثل يمتد رأسيا على أنه معينى الأوجه ذو أحرف وزوايا متساوية . ونجد أن نسبة ا : حـ فى هذه الحالة هى كنسبة ١ : $\sqrt{١٫٥}$ أو ١ : + ١,٢٢٤٧) .

وعلى ذلك فإن الأشكال المعينية الأوجه التى توجد فيها قيمة المحور حـ بالنسبة إلى ا أكبر من ١,٢٢٤٧ تكون لها زوايا قطبية (حيث يخرج المحور حـ) أقل من ٩٠° ، وينتج عن ذلك شكل معينى الأوجه حاد acute ، شكل (٨٦) ، (٨٧) ، أما إذا كانت قيمة النسبة أقل من ١,٢٢٤٧ ، فنجد أن الزوايا القطبية تكون أكبر من ٩٠° ، وينتج عن ذلك شكل معينى الأوجه منفرج obtuse شكل (٨٨) ، (٨٩) . وإحداثيات معينى الاوجه هى (ا : ∞ا : ا : م حـ) والدليل إما أن يكون { هـ . هـ̄ ل } أو { . ك ك̄ ل } ويطلق على الشكل { هـ . هـ̄ ل } أحيانا اسم معينى الاوجه الموجب ، أما { . ك ك̄ ل } فيطلق عليه اسم معينى الاوجه السالب . وعندما نمسك البلورة بحيث يكون المحور حـ عموديا والمحور ا$_{٢}$ يمتد

موازيا لماسك البلورة فإننا نجد فى حالة معينى الاوجه الموجب { هـ . هَ ل } وجها علويا فى حين يواجهنا معينى الاوجه السالب { ك كَ ل } بحرف فى هذا المكان.

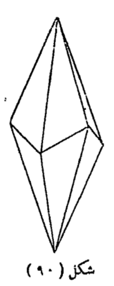


شكل (٨٧) شكل (٨٦)

شكل (٨٩) شكل (٨٨)

مثلثى الاوجه الثلاثى المزدوج Ditrigonal scalenohedron شكل (٩٠).

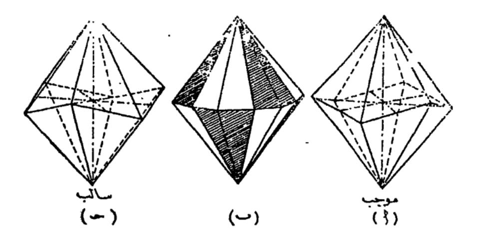
يتكون هذا الشكل من ستة أزواج من الاوجه المثلثية (غير متساوية الاضلاع) (المجموع إذن ١٢ وجهاً) وتقفل هذه الاوجه الفراغ . نلاحظ فى هذا الشكل البلورى أن الثلاثة أزواج العليا من الاوجه ليست فوق الثلاثة أزواج السفلى مباشرة ، أى لا يوجد بين الاثنين مستوى تماثل أفقى ، وعلى ذلك فلا يكون هذا الشكل هرماً منعكساً ثلاثياً مزدوجا ، ولكن يكون مثلثى الاوجه



شكل (٩٠)

ثلاثى مزدوج . فى هذا الشكل يصل المحور حـ بين الزوايا السداسية الأوجه (تتكون من تلاقى ستة أوجه) أما المحاور الأفقية $ا_١$ ، $ا_٢$ ، $ا_٣$ فإنها تصل بين منتصف الحروف الوسطى المتقابلة ، شكل (٩١ — ا ، حـ) .

ويمكن أن ننظر إلى مثلثى الأوجه الثلاثى المزدوج على أنه مشتق من الهرم المنعكس السداسى المزدوج (النظام العادى لفصيلة السداسى) إذا اخترنا ازواجا متبادلة من الأوجه شكل (٩١ - ب) . (زوج علوى ثم يليه زوج سفلى ثم زوج علوى وهكذا) ، ويمكننا إذن أن نحصل على مثلثى أوجه ثلاثى مزدوج موجب وآخر سالب ، شكل (٩١ - ا ، حـ) . والمثلثى الموجب يشغل موضعا مقابلا لموضع معينى الأوجه الموجب ، أما المثلثى السالب فإن موضعه يقابل موضع معينى الأوجه السالب . وإحداثيات مثلثى الأوجه الثلاثى المزدوج هى ± (ن ا : ط ا : $\bar{ا}$: م حـ) والدليل {هـ ك $\bar{و}$ ل} مثل {١٣$\bar{١}$٢} حيث هـ > ك ، {ك هـ $\bar{و}$ ل} حيث ك > هـ .



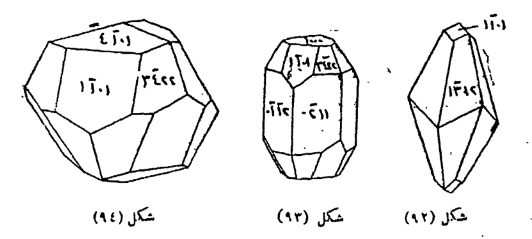
شكل (٩١)

مجموعات الأشكال :

توجد مجموعات مختلفة من الأشكال البلورية الثلاثية على البلورات الطبيعية ، شكل (٩٢) ، (٩٣) ، (٩٤) .

أمثلة من المعادن :

يتبلور فى هذا النظام الثلاثى الكامل التماثل المعادن التالية : كالسيت Calcite ($CaCO_3$) شكل (٩٢) ، سيديريت Siderite ($FeCO_3$) ، كوراندوم Corundum (Al_2O_3) شكل (٩٣) ، هيماتيت Hematite (Fe_2O_3) شكل (٩٤) .



شكل (٩٤)   شكل (٩٣)   شكل (٩٢)

مميزات البلورات الثلاثية :

تتميز البلورات الثلاثية Trigonal (تعرف أيضاً باسم البلورات معينية الأوجه Rhombohedral) بوجود محور ثلاثى التماثل (دورانى أو انقلابى) ينطبق دائماً مع المحور البلورى الرأسى (ح) ، ويكون طول البلورة فى هذا الإتجاه إما أكبر أو أصغر من الأبعاد الأفقية ($ا_١$ ، $ا_٢$ ، $ا_٣$) ، ويأخذ المقطع المستعرض العمودى على المحور الرأسى الثلاثى فى البلورات كاملة التماثل غير المشوهة شكلا مثلثى السمة .

فصيلة المعينى القائم

Orthorhombic System

المحاور البلورية

تشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التى لها ثلاثة محاور متعامدة وغير متساوية، شكل (٩٥) . ويمتد المحور حـ رأسيا ، بينما يمتد المحور ب من اليمين إلى اليسار ، أما المحور ا فانه يتجه من الأمام إلى الخلف، ولا يوجد محور أساسى فى هذه الفصيلة ، بمعنى أن أى محور يمكن أن يختار ليكون المحور حـ . وعادة نختار حـ أطول

شكل (٩٥)

من ب ، ب أطول من ا . وتتكون النسبة المحورية إذن من قيم ثلاث. فثلاثى بلورة الكبريت ا : ب : حـ = ٨١٣ر٠ : ١ : ٩٠٣ر٠ ، أما فى معدن سيلستيت Celestite ($SrSO_4$) فنجد النسبة ا : ب : حـ = ٧٧٩ر٠ : ١ : ٢٨٠ر١ ·

وتشمل هذه الفصيلة ثلاث نظم موضحة فى جدول (٨) .

النظام	قانون التماثل الكامل	مثال من المعادن
الهرم المنعكس المعينى القائم	$\frac{٢^{٣}}{م}$ ن	باريت $BaSO_4$, Barite
الوتد المعينى القائم	$٢^{٣}$	ابسوميت $MgSO_4.7H_2O$
الهرم المعينى القائم	٢ م م	هيميمورفيت $Zn_4(OH)_2Si_2O_7H_2O$

جدول (٨) : النظم البلورية فى فصيلة المعينى القائم

نظام الهرم المنعكس المعينى القائم

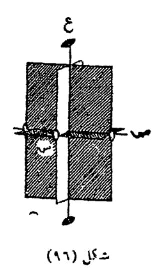
Orthorhombic Bipyramidal Class

التماثل :

قانون التماثل : $\frac{٢}{م}\ \frac{٢}{م}\ \frac{٢}{م}$ ن ، أو $\frac{٢^{٣}}{م}$ن ، شكل (٩٦) .

المحاور التماثلية : يوجد فى بلورات هذا النظام ثلاثة محاور ثنائية التماثل منطبقة على المحاور البلورية الثلاثة ، شكل (٩٦)

المستويات التماثلية : يوجد ثلاث مستويات تماثلية ، إثنان منها رأسيان والثالث أفقى ، ويشمل كل منها محورين بلوريين ، شكل (٩٦) .



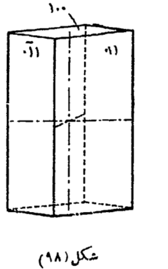
شكل (٩٦)

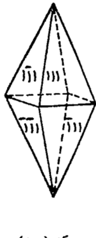
مركز التماثل : موجود أيضا فى بلورات هذا النظام .

الأشكال البلورية

هرم منعكس معينى قائم Orthorhombic bipyramid ، شكل(٩٧):
يتكون هذا الهرم المنعكس من ثمانية أوجه مثلثية الشكل (المثلث غير متساوى الأضلاع)، ومتشابهة، وتقفل الفراغ . هرم الوحدة له الإحداثيات (ا:ب:حـ) والدليل{١١١} ، أما الأهرامات الأخرى فلها — بصفة عامة — الاحداثيات (ن ا : ب : م حـ)، والدليل {هـ ك ل} حيث ك > هـ ، أو لها الاحداثيات

(١ : ن ب : م حـ) ، والدليل {ك هـ ل} حيث هـ > ك . (ن > ١ ، ٠ > م > ∞)





شكل (٩٨) شكل (٩٧)

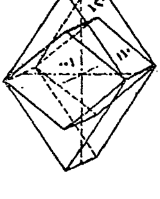
المنشور Prism ، شكل (٩٨) : شكل مفتوح مكون من أربعة أوجه قاطعة للمحورين ا ، ب ولكنها تمتد موازية للمحور حـ . دليل منشور الوحدة هو {٠١١} ، أما الأشكال الأخرى من المنشور فلها الدليل {هـ ك . } مثل {٠١٢} ، {٠٢٣} الخ .

المسقوف Dome ، شكل (٩٩) ، (١٠٠) : شكل مفتوح يشبه السقف المكون من سطحين فى هيئة رقم ثمانية (٨) يقابلهما سطحين آخرين بالعكس ، أى فى هيئة سبعة (٧)، وتقطع أوجه المسقوف أحد المحورين الأفقيين والمحور الرأسى حـ . يسمى المسقوف الذى يوازى المحور ا (يقطع ب ، حـ) بأسم مسقوف ا a—dome ، أو مسقوف جانبى side dome ، شكل (٩٩) . الاحداثيات العامة (∞ ا : ب : م حـ) والدليل {. ك ل} مثل {٠١١} ، {٠١٢} ويتكون من أربعة أوجه .

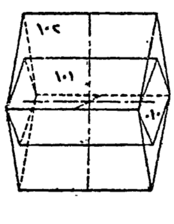
أما المسقوف الذى تمتد أوجهه موازية للمحور ب فيعرف باسم مسقوف ب b—dome ، أو مسقوف أمامى front dome ، شكل (١٠٠) الإحداثيات

(ا : ∞ ب : م ﺣ) والدليل {ﻫ . ل}، مثل {١٠١}، {١٠٢}، ويتكون من أربعة أوجه .

يكون كلا الشكلين ـ المنشور والمسقوف ـ شكلا مفتوحا ، وعلى ذلك فلا يظهر أحدهما بمفرده ، بل لابد أن يكون مجموعا مع شكل آخر .



شكل (٩٩)



شكل (١٠٠)

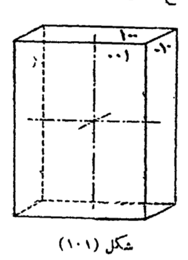
المسطوح Pinacoid ، شكل (١٠١) وهو شكل مفتوح مكون من وجهين فقط موازيين لبعضهما البعض ، ويقطع الوجه أحد المحاور البلورية ويوازى المحورين الآخرين ، ويعرف المسطوح بأسم المحور الذى يقطعه ، فإذا قطع المحور ﺣ فإنه يعرف بأسم مسطوح ﺣ ، ويعرف بإسم مسطوح ب إذا كان يقطع المحور ب ، أو مسطوح ا إذا كان يقطع المحور ا .

مسطوح ﺣ أو مسطوح قاعدى
a— or basal Pinacoid

{١٠٠} ، وجهان .

مسطوح ب أو مسطوح جانبى
b— or side Pinacoid

{٠١٠} ، وجهان .

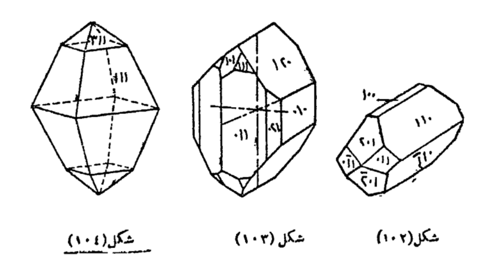


شكل (١٠١)

مسطوح ا أو مسطوح أمامى a—or front Pinacoid {٠٠١}، وجهان .

مجموعات الأشكال:

توجد الأشكال {٠١١} ، {٢٠١} ، {١١٠} ، {١٠٠} مجموعة على بلورة معدن باريت Barite ($BaSO_4$) ، شكل (١٠٢) ؛ أما بلورة الأوليفين Olivine [$(Mg,Fe)_2SiO_4$]، شكل (١٠٣)، فيوجد عليها الأشكال {١١١}، {٠١١} ، {٠٢١} ، {١٠١} ، {١٢٠} ، {٠١٠}؛ وفي بلورة الكبريت شكل (١٠٤) نشاهد الأشكال {١١١} ، {٣١١} مجموعة .



شكل (١٠٤)   شكل (١٠٣)   شكل (١٠٢)

أمثلة من المعادن .

يتبلور فى هذا النظام المعينى القائم الكامل التماثل عدد كبير من المعادن نذكر منها: الكبريت المعينى، شكل (١٠٤)؛ باريت Barite ($BaSO_4$) شكل (١٠٢) ؛ أراجونيت Aragonite ($CaCO_3$) ؛ سلستيت Celestite ($SrSO_4$) ؛ توباز Topaz [$Al(F,OH)_2 AlSiO_4$] أوليفين Olivine [$(Mg,Fe)_2SiO_2$] شكل (١٠٣)

مميزات البلورات المعينية القائمة:

تتميز البلورات المعينة القائمة فى النظام كامل التماثل بوجود ثلاثة محاور ثنائية التماثل تنطبق على المحاور البلورية ا ، ب ، حـ . ونظراً لأن المحور حـ فى هذه الفصيلة ليس مميزاً تماثلياً عن المحورين الأفقيين فقد اتفق علماء البلورات على توجيه البلوره المعينية القائمة بحيث يكون حـ > ب > ا ، ولو أنه فى الماضى لم يكن هذا الاتفاق موجوداً ، وعادة نجد فى المراجع السالفة أن أياً من المحاور الثلاثة يتخذ إتجاها للمحور حـ ، وأطول الاثنين الآخرين هو المحور ب ، والأقصر هو المحور ا . ويبدو المقطع المستعرض العمودى على المحور الرأسى فى البلورات كاملة الأوجه غير المشوهة فى شكل ذى سمة مستطيلة أو معينية .

فصيلة الميل الواحد

Monoclinic System

المحاور البلورية .

تشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التى لها ثلاثة محاور بلورية غير متساوية ا ، ب ، حـ ، إثنان منها (ا ، حـ) يتقاطعان فى زاوية مائلة (لاتساوى ٩٠°) ، هى زاوية β (بيتا Beta) شكل (١٠٥) . تمسك بلورة هذه الفصيلة بحيث يمتد المحور ب من اليمين إلى اليسار (موازيا لماسك البلورة) ويمتد المحور حـ رأسيا ، أما المحور

شكل (١٠٥)

ا فيمتد مائلا إلى الأمام فى إتجاه ماسك البلورة . وتعرف الزاوية β بيتا المنفرجة بالزاوية الموجبة ، أما الزاوية β بيتا الحادة فتعرف بالزاوية السالبة . وواضح أن الزاويتين الموجبة والسالبة متكاملتان (أى مجموعهما يساوى ١٨٠°) ولما كانت

الزاوية β تختلف من معدن إلى آخر فإن تعيينها يساعد فى التعرف على البلورة ، وبالتالى المعدن ، وذلك بالإضافة إلى تعيين النسبة المحورية ا:ب : حـ . وتعرف هذه العناصر (الزاوية β والنسبة المحورية) بأسم عناصر التبلور Elements of crystallization . فمثلا عناصر التبلور لمعدن الجبس Gypsum ($CaSO_4 . 2H_2O$) يعبر عنها هكذا ا : ب : حـ = ٠٫٦٩٠ : ١ : ٠٫٤١٢ ، β = ٤٢َ ٨٠° .

ويلاحظ أن المحور ب (أفقى) هو المحور الأساسى فى هذه الفصيلة ، وهو الذى يختار أولا عند توجيه البلورة والمحور البلورى ب قد يكون محوراً ثنائى التماثل أو متعامدا على مستوى تماثل .

وتشمل هذه الفصيلة ثلاثة نظم موضحة فى جدول (٩) .

النظام	قانون التماثل الكامل		أمثلة من المعادن
منشور الميل الواحد	$\frac{٢}{م}$ ن	أرثوكلز	$KAlSi_3O_8$
مسقوف الميل الواحد	$\overline{٢}$ (=م)	كلينوهيدريت	$H_2CaZnSiO_5$
وتد الميل الواحد	٢	ناترولیت	$Na_2(Al_2Si_3O_{10})H_2O$

جدول (٩) : النظم البلورية فى فصيلة الميل الواحد

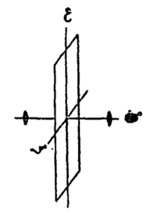
نظام المنشور المائل

Monoclinic Prismatic Class

التماثل

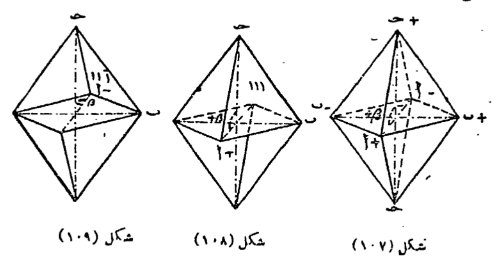
قانون التماثل الكامل : $\frac{٢}{م}$ ن

شكل (١٠٦) . يوجد فى هذا النظام محور واحد ثنائى التماثل ينطبق على المحور ب . وهذا المحور عمودي على مستوى تماثل (يشمل هذا المستوى المحورين ا ، حـ) ويوجد بالاضافة إلى ذلك مركز تماثل .



شكل (١٠٦)

نصف الهرم المنعكس Hemibipyramid ، شكل (١٠٨) ، (١٠٩) :
نتيجة لوجود مستوى تماثل ومحور ثنائى التماثل فقط ، فإننا نجد أن الشكل البلورى الذى تقطع أوجهه المحاور البلورية فى مسافات الوحدة ، أى ذو الاحداثيات ا : ب : حـ يتكون من أربعة أوجه فقط . فالأوجه الاربعة التى تقفل الزاوية بيتا الموجبة (β +) [المنفرجة، شكل (١٠٨)] ، تكون نصف هرم الوحدة المنعكس الموجب؛ أما الأوجه التى تقفل الزاوية بيتا السالبة، (β-) شكل (١٠٩)، فإنها تكون نصف هرم الوحدة المنعكس السالب. وواضح أن أوجه كل من الشكلين الموجب والسالب مختلفة ، فتلك الموجودة فى الزاوية

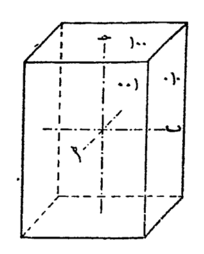


شكل (١٠٩)　　شكل (١٠٨)　　شكل (١٠٧)

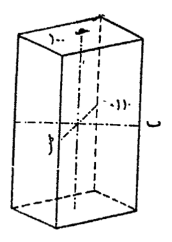
الموجبة أكبر . الدليل {١١١} للموجب، {١١١̄} للسالب . هذا بالنسبة لشكلى الوحدة (تقطع أوجههما المحاور البلورية فى مسافات الوحدة)، أما نصف الأهرامات المنعكسة التى تقطع المحاور البلورية فى مسافات مختلفة عن الوحدة فلها الأدلة العامة {ههل} ، {ههل̄} ، {هكل} ، {هكل̄} ، {كهل} {كهل̄}.

المنشور Prism ، شكل (١١٠) : عبارة عن شكل مفتوح مكون من أربعة أوجه كما هو الحال فى فصيلة المعينى القائم . منشور الوحدة له الدليل {١١٠} . أما المنشورات التى تقطع المحورين ا ، ب على مسافات مختلفة عن

الوحدة فلها الدليل العام { ه ك . } حيث ه > ك ، مثل {٠١٢} ، أو {ك ه .} حيث ك > ه مثل {٠٢١} .



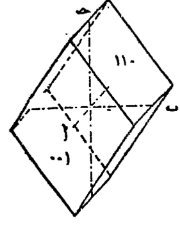
شكل (١١١)



شكل (١١٠)

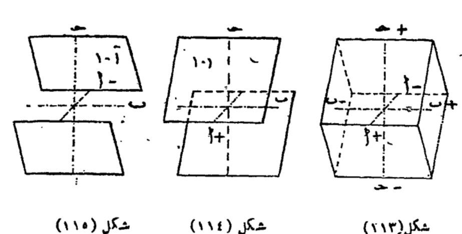
المسقوف : Dome :

المسقوف الجانبى أو مسقوف ا a – dome :
مكون من أربعة أوجه موازية للمحور ا ، شكل (١١٢) . الاحداثيات ، (∞ ا : ب : م ح) ، والدليل { . ك ل } .



شكل (١١٢)

نصف المسقوف الأمامى أو نصف مسقوف ب Hemi front or b – dome : بما أن المحور ا مائل بالنسبة للمحور ح فإنه ينتج عن ذلك أن المسقوف الموازى للمحور ب يتكون من وجهين فقط وليس أربعة ، شكل (١١٤) ، (١١٥) ، ولذلك يعرف بأسم نصف المسقوف ب . والشكل الذى يحصر الزاوية بيتا الموجبة (المنفرجة) يعرف بنصف المسقوف ب الموجب ودليله { ه . ل } ، مثل {١٠١} ، شكل (١١٤) . أما نصف المسقوف ب السالب فهو الذى يحصر الزاوية بيتا السالبة ودليله { ه . ل } ، مثل {١٠$\bar{١}$} ، شكل (١١٥) .



شكل (١١٣)　　　　شكل (١١٤)　　　　شكل (١١٥)

المسطوحات Pinacoids ، شكل (١١١) : توجد ثلاثة أنواع منها، مثل سابقتها فى فصيلة المعينى القائم ، وهى :

المسطوح القاعدى أو مسطوح حـ، {١٠٠} :وجهان.

المسطوح الجانبي أو مسطوح ب، {٠١٠} : وجهان .

المسطوح الأمامى أو مسطوح ا، {٠٠١} : وجهان .

مجموعات الأشكال .

توجد أشكال بلورية كثيرة مجموعة على البلورات الطبيعية التى تمثل هذا النظام كما فى شكل (١١٦)، (١١٧) ، (١١٨) ، (١١٩) .

أمثلة من المعادن :

يتبلور فى هـــذا النظام الكامل التماثل لفصيلة الميل الواحد عدد كبير من المعادن ، من بينها معظم معادن السليكات المكونة للصخور النارية ، نذكر منها : —

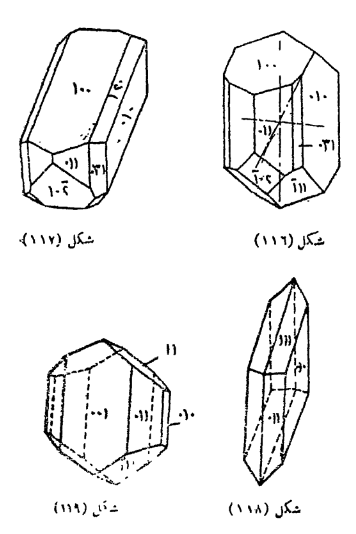
أرثوكليز Orthoclase $(KAlSi_3O_8)$ ، شكل (١١٦) ، (١١٧) .

أوجيت Augite (Ca Al Fe Mg Silicate) شكل (١١٩) .

هورنبلند Hornblende [Ca Al Fe Mg (OH) Silicate]

بيوتيت Biotite [K Al Fe Mg (OH) Silicate] .

جبس Gypsum $(CaSO_4 . 2H_2O)$ شكل (١١٨) .



شكل (١١٦) شكل (١١٧)

شكل (١١٨) شكل (١١٩)

مميزات بلورات الميل الواحد :

تتميز بلورات الميل الواحد بأن المحور البلورى ب هو المحور الوحيد ثنائى التماثل (متعامد على مستوى تماثلى فى النظام كامل التماثل) الموجود فى هذه البلورات . وفى هذا التوجيه يقع المحوران حـ (رأسى) ، ا (مائل نحو ماسك البلورة) فى مستوى التماثل الرأسى وهو المستوى الوحيد الموجود فى هذه البلورات . وفى معظم بلورات الميل الواحد يكون المحور حـ هو محور استطالة البلورة ، ولكن فى حالات قليلة ، مثل الأرثوكليز تستطيل البلورة فى إتجاه المحور ا . وبعض المعادن مثل الأبيدوت تستطيل بلوراتها فى إتجاه المحور ب . وفى كل بلورات الميل الواحد يلاحظ عموماً أن ميل الأوجه البلورية الموازية للمحور ا تكون محوظا . وفى حالات نادرة تصل الزاوية بين المحورين ا ، حـ قريباً جداً من ٩٠°.

فصيلة الميول الثلاثة

Triclinic System

شكل (١٢٠)

المحاور البلورية

تشمل هـذه الفصيلة جميع البلورات التي لهـا ثلاثة محاور غير متساوية وغير متعامدة (أي أنها تتقاطع في زوايا مائلة)، شكل (١٢٠)، وتمسك البلورة بحيث يمتد المحور حـ رأسيا، ويمتد المحور ب من اليمين إلى اليسار، أما المحور ا فيمتد إلى الامام تجاه ماسك البلورة.

وتتكون عناصر التبلور من النسبة المحورية ا : ب : حـ، والزوايا الثلاث : ألفا (α)، بيتا (β)، جاما (γ). فمثلا، في بلورة رودونيت Rhodonite ($MnSiO_3$) نجد أن عناصر التبلور هي، ا : ب : حـ = ١٫٠٧٣ : ١ : ٠٫٦١٢، α = ١٨َ ١٠٨°، β = ٤٤َ ١٠٨°، γ = ٣٩َ ٨١°.

وتشمل فصيلة الميول الثلاثة نظامين بلوريين، كما في جدول (١٠):

النظام	قانون التماثل الكامل	أمثلة من المعادن
مسطوح الميول الثلاثة	$\bar{1}$ (= ن)	ولاستونيت $CaSiO_3$
سطح الميول الثلاثة	١	أكسينيت

جدول (١٠) النظم البلورية في فصيلة الميول الثلاثة

نظام مسطوح الميول الثلاثة

Triclinic Pinacoidal Class

التماثل :

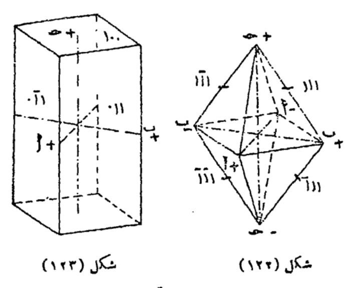
تتكون عناصر التماثل فى هذا النظام من مركز تماثل فقط ، شكل (١٢١)، وعلى ذالك فان أى شكل بلورى تابع لهذا النظام يتكون من وجهين اثنين فقط ، وجه فى ناحية من المركز ووجه آخر مواز له فى الناحية المقابلة من المركز .

الاشكال البلورية

ربع الهرم المنعكس Tetartobipyramid شكل (١٢٢) . بما أن المستويات التى تمر بالمحاور البلورية تقسم الفراغ البلورى إلى أربعة أزواج من الاقسام غير المتشابهة ، كل قسم عبارة عن ثمن ($\frac{1}{8}$) الفراغ ، فإنه ينتج على البلورة إذن أربعة أنواع من

شكل (١٢١)

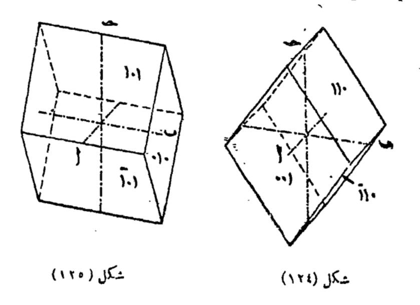
الاشكال الهرمية . يتكون كل شكل هرمى من وجهين متقابلين فقط ، أو بمعنى آخر يتكون من [$\frac{1}{4}$] عدد أوجه الهرم المنعكس . ولذلك فإن هذا الشكل [الذى تقطع أوجهه جميع المحاور البلورية] يعرف باسم ربع الهرم المنعكس . فإذا كانت الاوجه تقطع المحاور البلورية فى مسافات الوحدة فإن الشكل يعرف بشكل الوحدة ، أما الاشكال الاخرى فإنها تقطع المحاور البلورية فى مسافات مختلفة . وفى عبارة أخرى يمكننا أن نقول أن شكل الهرم المنعكس المعينى القائم قد تحول إلى أربعة أشكال هرمية منعكسة نتيجة لميل المحاور البلورية بالنسبة إلى بعضها البعض . وأدلة هذه الاشكال الاربعة هى : { ١١١ } ويعرف باسم العلوى اليمينى ، { $\overline{1}11$ } العلوى اليسارى ، { $1\overline{1}1$ } السفلى اليمينى ، { $\overline{1}\overline{1}1$ } السفلى اليسارى . ويتوقف الإسم فى كل من هذه الحالات الاربعة على مكان الفراغ الامامى («الثمن» $\frac{1}{8}$) الذى يقفله وجه الشكل .



شكل (١٢٢)　　　شكل (١٢٣)

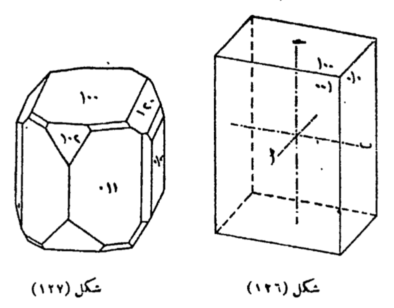
نصف المنشور Hemiprism ، شكل (١٢٣) : من الواضح الآن أن المنشورات فى هذا النظام الذى لا يحتوى سوى مركز تماثل فقط تتكون من وجهين اثنين فقط لكل منها ، ولذلك فإنها تعرف باسم نصف منشورات ، ويمكن تمييز نصف منشور يمينى {٠١١} ، ونصف منشور يسارى {٠١̅١}. وهذه الاشكال مفتوحة. وتوجد فى شكل (١٢٣) مجتمعة مع المسطوح القاعدى {١٠٠}

نصف المسقوف Hemidome : تتكون المسقوفات الآن من وجهين فقط. وعليه فإننا نتحدث عن نصف المسقوف اليمينى {١١٠} ، واليسارى {١١̅٠}، بشكل (١٢٤)؛ ونصف المسقوف العلوى {١٠١}. والسفلى {١٠١̅} شكل (١٢٥) ، والتى تشاهد مجتمعة مع المسطوح الامامى والمسطوح الجانبى فى الشكلين على التوالى .



شكل (١٢٤)　　　شكل (١٢٥)

المسطوحات Pinacoids ، شكل (١٢٦) : المسطوح الأمامى أو مسطوح ا {٠٠١} ، وجهان ؛ المسطوح الجانبى أو مسطوح ب {٠١٠} ، وجهان ؛ المسطوح القاعدى أو مسطوح حـ {١٠٠} ، وجهان .



شكل (١٢٧)

شكل (١٢٦)

المجموعات الشكلية

يوجد عدة أشكال بلورية مختلفة مجموعة على البلورات الطبيعية شكل (١٢٧).

أمثلة من المعادن

يتبلور فى هذا النظام معادن البلاجيوكليز وهى من المعادن الأساسية فى تكوين الصخور النارية ، ومن أمثلتها ألبيت Albite ($NaAlSi_3O_8$) أنورثيت Anorthite ($CaAl_2Si_2O_8$) ، شكل (١٢٧) كذلك تتبلور فى هذا النظام معادن رودونيت Rhodonite ($MnSiO_3$)، ولاستونيت Wollastonite ($CaSiO_3$)

مميزات بلورات الميول الثلاثة

تتميز بلورات الميول الثلاثة بأنها لا تحتوى أيا من المحاور التماثلية أو المستويات التماثلية . وباستثناء معادن الفلسبارات البلاجيوكليزية فإن قلة من المعادن تتبلور فى فصيلة الميول الثلاثة ، وعادة ما تكون بلوراتها غير واضحة وغير كاملة الاوجه.

أسماء وتوزيع وعلاقة الأشكال البلورية

فى النظم الكاملة التماثل فى الفصائل البلورية السبعة

يبين جدول (١١) فيما يلى أسماء، وتوزيع، وعلاقة الأشكال البلورية فى النظم الكاملة التماثل فى الفصائل البلورية السبعة التى درسناها .

الفصيلة \ الشكل	١١١ أو ١$\bar{٢}$١١	١١٠ أو ١$\bar{١}$١٠	١٠١ أو ١$\bar{١}$٠١	٠١١ أو ٠$\bar{٢}$١١	٠٠١ أو ٠$\bar{١}$٠١	٠١٠ أو ٠$\bar{١}$١٠	١٠٠ أو ١٠٠٠
الميول الثلاثة	ربع هرم منعكس	نصف مسقوف ا	نصف مسقوف ب	نصف منشور	مسطوح ا	مسطوح ب	مسطوح حـ
الميل الواحد	نصف هرم منعكس	مسقوف ا	نصف مسقوف ب	منشور مائل	»	»	»
المعينى القائم	هرم منعكس	مسقوف ا	مسقوف ب	منشور معينى قائم	»	»	»
الثلاثى	هرم منعكس سداسى (٢)	معينى الأوجه	معينى الأوجه	منشور سداسى	منشور سداسى		»
السداسى	هرم منعكس سداسى (٢)	هرم منعكس سداسى (١)		منشور سداسى (٢)	منشور سداسى (١)		»
الرباعى	هرم منعكس رباعى (١)	هرم منعكس رباعى (٢)		منشور رباعى (١)	منشور رباعى (٢)		»
المكعب	ثمانى الأوجه	الأثنا عشر وجها معينا			مكعب		

جدول رقم (١١) أسماء بعض الأشكال البلورية فى النظم الكاملة التماثل فى الفصائل البلورية .

عدد المواد المتبلورة فى كل فصيلة ونظام بلورى وأهميته النسبية

يصل العدد الحالى للمواد المتبلورة المعروفة حوالى ٢٠٠٠٠ من بينها ألفان توجد فى الطبيعة كمعادن ، الكثير منها نادر الوجود. ومن بين هذا العدد الضخم من المواد المتبلورة نجد أن :ـ

٥٠ ٪ تتبلور فى فصيلة الميل الواحد . ⎫
٢٥ ٪ تتبلور فى فصيلة المعينى القائم . ⎬ مجموعة بلورات الأطوال الثلاثة
١٥ ٪ تتبلور فى فصيلة الميول الثلاثة . ⎭

وفى عبارة أخرى إن هذه الفصائل الثلاثة (ذات التماثل الأقل بين الفصائل البلورية السبعة) تضم ٩٠ ٪ من مملكة البلورات ، تاركة نسبة بسيطة (١٠ ٪) لبقية الفصائل البلورية الاربعة مجتمعة ، والتى يمكن ترتيبها ترتيبا تنازليا حسب الأهمية النسبية لعدد البلورات التى تتبلور فى كل منها كما يلى: المكعب ثم الرباعى ثم الثلاثى ثم السداسى. ويلاحظ أن العدد الاكبر من المواد المتبلورة داخل الفصيلة الواحدة ينتمى إلى النظام الكامل التماثل . ومن أجل تحقيق المواد المتبلورة والتعرف عليها يمكننا أن ننظر إلى مثل هذا التوزيع ـ ومايبدو من عدم أهمية الفصائل الاعلى تماثلا ـ على أنه تيسير فى صالح تحقيق المواد المتبلورة وليس تعسيرا للامور . ففى جميع بلورات المواد المكعبية نجد أن الزاوية بين وجهين متقابلين (وجهان لهما نفس الدليلين) ثابتة . ومعنى ذلك أن تعيين الزوايا بين الوجوه فى البلورات المكعبية لايفيد فى تحقيق هذه المواد .وكلما انخفض التماثل زاد عدد المتغيرات ، حتى أننا فى فصيلة الميول الثلاثة (أقل الفصائل تماثلا) نجد أن أقل عدد من الزوايا بين الوجوه (وهى متغيرة) غير المرتبطة ببعضها ينبغى التعرف عليها من أجل تعيين الزوايا المحورية الثلاثة (ألفا، بيتا، جاما) وكذلك النسبة المحورية (وبالتالى تحقيق المادة) هو خمسة .

هيئة البلورة Crystal habit

سبق أن ذكرنا أن المعدن يتميز بشكل بلورى ثابت، وعلى هذا يختلف معدن عن آخر فى الزوايا بين الوجهية ، وكذلك فى تماثل الاشكال البلورية ، أى فى نظام توزيع الاوجه على البلورة حسب عناصر التماثل المميزة فى البلورة. وتعتبر هذه الاختلافات (فى الزوايا والتماثل) أساسية فى التمييز بين بلورة وأخرى ، كما أنها تمثل الفوارق الهامة بين الفصائل البلورية السبعة التى ذكرناها . أما الاختلافات الاخرى التى تظهر على البلورات فليست من الاهمية بمكان مثل هذه الاختلافات الجوهرية. ونعنى بالاختلافات الاخرى اختلاف حجم البلورات والاختلاف فى التكوين النسبى للأوجه البلورية، وعددها، وكذلك نوع هذه الاوجه ، أو الاشكال البلورية الموجودة على البلورة ، وقد سبق أن عرفنا التكوين المختلف لاوجه الشكل البلورى الواحد باسم التشوه أو اختلاف الاوجه البلورية distortion ، شكلا (١٤) ، (١٥) ، وتوصف البلورة فى هذه الحالة بأنها مشوهة أو مختلفة الاوجه distorted . ويجب ألا ننسى أن مثل هذا التشوه لايؤثر على الزوايا بين الوجهية ، لان هذه الزوايا ثابتة مادام ميل الاوجه البلورية ثابت ، ولا يهم بعد ذلك إذا كبر الوجه أو صغر .

وقد لوحظ أن بلورات المادة الواحدة تختلف عن بعضها البعض فى حجم الاوجه ونسبة تكوينها ، وكذلك فى عدد ونوع الاوجه والاشكال الموجودة على البلورات . ومن المشاهدات العامة أنه إذا نمت البلورة (كلورات الصوديوم مثلا) فى محلول ، أثناء عملية التبلور داخل كأس مثلا، وكان نموها على القاع ، فإنها لا تجد حرية فى النمو إلى أسفل حيث تصطدم بقاع الكأس ، ولا يوجد محلول تنمو منه ولكنها تنمو إلى الجانبين وإلى أعلى بحرية. وتنتج لنا فى هذه الحالة بلورة مسطحة أو مبططة ، أما إذا علقت هذه البلورة فى المحلول فإنها تنمو بالتساوى فى جميع الإتجاهات وتأخذ شكلا مكعبا. ويعرف الشكل الذى تظهر به البلورة للعين بإسم هيئة البلورة crystal habit . ولا تتوقف هيئة البلورة على طبيعة المادة المكونة لها فحسب، ولكنها تتوقف أيضاً على الظروف التى أحاطت بالبلورة أثناء نموها. ومن ذلك يمكننا أن نقول أن هيئة البلورة تصف التكوين النسبى للاوجه أو الاشكال

البلورية ، وكذلك عددها ونوعها . ويجب ألا يغيب عن ذهننا أبداً أن مثل هذا التغير فى هيئة البلورة يحدث دون أن يتبعه أى تغير — حتى ولوكان طفيفا — فى الزوايا بين الوجهين.

ويمكن وصف الهيئة البلورية للمعادن إما بالنسبة للشكل الظاهرى ومايشابهه، كان تكون إبرية أو عمدانية أو مسطحة ... الخ ، أو بالنسبة للشكل البلورى الغالب فى تكوين البلورة مثل هرمية أو منشورية أو مسطوحية. الخ .. ونذكر فيما يلى الألفاظ المستعملة فى وصف هيئة البلورة ، شكل (١٤)، صفحة (٢٠).

متساوية equant أو متساوية الأبعاد equidimensional ، وذلك عندما تكون جميع الأوجه البلورية متساوية فى الحجم تقريبا، مثل الجارنت .

مسطوحة أو نضدية tabular ، وذلك عندما يكون هناك زوج من الأوجه أكبر بكثير من الأوجه الأخرى وتبدو البلورة، فى هذه الحالة ، مبططة.

صفائحية lamellar ، أو حتى ورقية foliated ، وذلك عندما يصل التبطيط إلى درجة كبيرة فتصبح البلورة فى سمك الورقة .

عمدانية columnar ، وذلك عندما نجد على البلورة ثلاثة أوجه أو أكثر — موازية لاتجاه مشترك فيما بينها - قد أصبحت أكبر بكثير من أية أوجه أخرى، أو بمعنى آخر عندما نجد البلورة طويلة ، أى أن النمو البلورى كان غالبا فى اتجاه واحد ، مثل تورمالين .

إبرية acicular أو أليافية fibrous ، وذلك عندما تبلغ استطالة البلورة نهايتها (تشبه الإبرة، مثل بعض أنواع هورنبلند او الألياف، مثل أسبستوس).

وإننا لنجد أن بلورات اى فصيلة من الفصائل البلورية يمكن أن يكون لها أية هيئة من الهيئات المذكورة أعلاه، أى قد تكون متساوية أو مسطحة أو صفائحية أو عمدانية أو إبرية، ولكننا نلاحظ أن البلوريات المكعبية تكون غالبا ذات هيئة متساوية .

وتوصف هيئة البلورة أيضاً بالنسبة إلى الأشكال البلورية التى توجد أوجهها كبيرة ظاهرة على البلورة، وغالبة على بقية أوجه الأشكال الأخرى . فمثلا ،قد تكون البلورات المكعبة مكعبة الهيئة أو ثمانية الأوجه أو اثنى عشر وجهاميناً. وبلورات الرباعى قد تكون هرمية الهيئة أو منشورية أو مسطوحية . أما فى فصيلى السداسى والثلاثى فقد تكون البلورات هرمية أو منشورية أو مسطوحية أو معينية الأوجه أو مثلثية الأوجه مزدوجة . وفى بلورات المعينى القائم والميل الواحد والميول الثلاثة قد تكون الهيئة البلورية هرمية أو منشورية أو مسقوفية أو مسطوحية. وعندما تنتهى البلورة المنشورية بأوجه بلورية من ناحية واحدة فقط فإنها توصف بأنها ذات طرف واحد singly terminated، أما إذا انتهت البلورة المنشورية بأوجه بلورية من الناحيتين فإنها توصف بأنها ذات طرفين doubly terminated.

مجموعات البلورات

Groups of Crystals

توجد بعض المعادن فى الطبيعة فى هيئة بلورات مفردة أو وحيدة ، ولكن الغالبية العظمى من المعادن توجد بلوراتها مجتمعة فى هيئة مجموعات ، قد تكون منظمة فى ترتيبها ،أو غير منظمة . ومن دراستنا السابقة يمكن تعريف البلورة بأنها جسم عديد الأوجه polyhedron ،فيه الزوايا بين الوجهية أقل من ١٨٠° فإذا وجدنا على المادة المتبلورة زاوية داخلة reenterant angle ،شكل(١٢٩)، (١٣٠) ، أى زاوية تكونها أوجه بلورية متجهة إلى الداخل ، فإن هذا يعتبر دليلا على وجود أكثر من بلورة واحدة مشتركة فى هذه المادة المتبلورة. أى أن هذه المادة المتبلورة تتكون من مجموعة من البلورات ، وليست بلورة واحدة .

وتصنف مجموعات البلورات إلى قسمين حسب التركيب الكيميائى لأفرادها، فإذا كانت تتكون من بلورات ذات تركيب كيميائى واحد فإنها تعرف باسم مجموعة متجانسة ، أما إذا كانت مكونة من بلورات مختلفة التركيب الكيميائى (وبالتالى مختلفة المعادن) فإنها تعرف باسم مجموعة غير متجانسة .

مجموعات متجانسة (جميع بلوراتها مكونة من مادة واحدة) :

تضم ثلاثة أقسام حسب ترتيب البلورات والعلاقة الهندسية بينها، هي:

١ ــ مجموعات البلورات المتوازية. وذلك عندما تكون البلورات موازية لبعضها البعض .

٢ ــ بلورات توأمية أو توائم ، وذلك عندما تكون البلورات موازية جزئياً لبعضها البعض (أى بعض المحاور البلورية متوازية والبعض الآخر غير متوازى).

٣ ــ مجموعات البلورات غير المنتظمة وهذه ينقصها توازى أفرادها .

مجموعات غير متجانسة (بلوراتها مكونة من مواد مختلفة) :

وهذه تصنف أيضاً إلى أقسام ثلاثة حسب ترتيب أفرادها ، هى :

١ ــ مجموعات البلورات النطاقية zonal growths ، هذه تتوازى أفرادها.

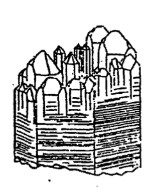
٢ ــ مجموعات البلورات المنتظمة ، عندما تتوازى الأفراد جزئيا .

٣ ــ مجموعات البلورات غير المنتظمة ، وهذه ينقصها توازى أفرادها .

ا. المجموعات البلورية المتجانسة Homogeneous groups

(ا) مجموعات البلورات المتوازية Parallel growths :

تتكون مثل هذه المجموعات عادة من عدة بلورات بدلا من بلورتين اثنتين فقط . وفيها نجد أن البلورات توازى بعضها البعض ، ومن أمثلتها مجموعات البلورات المتوازية لمعدن الكوارتز ،شكل(١٢٨) ، والكالسيت. كذلك توجد هذه المجموعات المتوازية من البلورات كنتوءات صغيرة على أوجه بعض البلورات ،

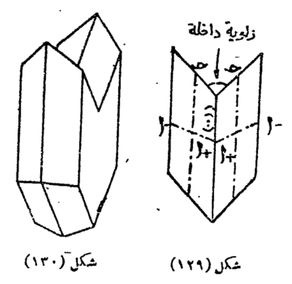


شكل (١٢٨)

وتعرف باسم أوجه ذات نتوءات drusy faces . كما يوجد فى بلورات معدن فلوريت Fluorite (CaF_2).

(٢) البلورات التوأمية أو التوائم Twin crystals or twins

يطلق اسم توأم أو بلورات توأمية على بلورتى المادة الواحدة اللتين تكونان مجموعة وتظهران متوازيتين توازيا جزئيا. ويحتفظ كل جزء من التوأم باتجاهات



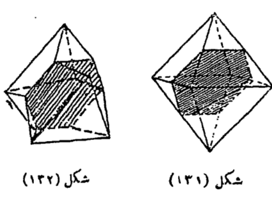
شكل (١٣٠) شكل (١٢٩)

محاوره البلورية الخاصة، ولكن يرتبط كل من هذين الاتجاهين بلوريا باتجاه الآخر، شكل (١٢٩)، (١٣٠). وهذا الارتباط يمكن فهمه بسهولة إذا نحن تصورنا أن أحد جزئى التوأم قد دار زاوية مقدارها ١٨٠° حول محور أو اتجاه ما لينطبق اتجاه هذا الجزء مع اتجاه الجزء الآخر، ونلاحظ أن هذا المحور أو الاتجاه يظل مشتركا بين جزئى التوأم [هذا المحور عمودى على الوجه (٠٠١) فى حالة البلورة شكل (١٢٩)] ، ويعرف مثل هذا الاتجاه باسم المحور التوأمى twinning axis

وعادة يكون هذا المحور التوأمى عبارة عن محور بلورى أو عمودى على أحد الأوجه البلورية. وعملية الدوران حول المحور التوأمى هى عملية تخيلية بحتة، إذ يجب ألا يغيب عن ذهننا أن البلورة المركبة قد نمت على هذه الحالة التوأمية وتحدد فيها اتجاه كل من الجزأين منذ بدء عملية التبلور، أى أن الذرات قد رتبت نفسها فى هذا الترتيب المتوازى جزئيا منذ البداية. ونلاحظ فى شكل (١٢٩) أن هناك زوايا داخلة reenterant angles تميز هذه التوائم. أما البلورة المفردة فإنها تظهر زوايا خارجة (تطل إلى الخارج) salient angles فقط.

وقد يرتبط اتجاه كل من جزئى التوأم بواسطة مستوى ينعكس خلاله أحد

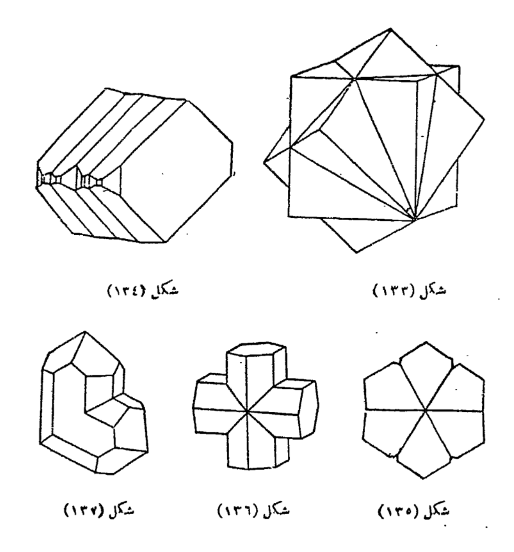
الجزءين لينتج الجزء الآخر (مثل مستوى التماثل)، شكل (١٣٢) ، ويعرف هذا المستوى باسم المستوى التوأمى twinning plane . أما مستوى التركيب composition plane فهو المستوى الذى يبدو فيه جزئى التوأم ملتصقان ، وهو ينطبق على المستوى التوأمى ولكن ليس هذا دائما .



شكل (١٣١)　　　　شكل (١٣٢)

وتعرف التوائم دائماً بواسطة قانون يذكر فيه ما إذا كان هناك محور توامى أو مستوى توامى ، وكذلك الإتجاه البلورى لهذا المحور أو ذاك المستوى .

وهناك صفات مختلفة للتوائم ، فمثلا إذا كانت بلورات التوأم ملتصقة بواسطة مستوى التركيب الذى يبدو سطحا مستويا فإن التوأم تعرف فى هذة الحالة باسم توأم ملتصقة contsct twin ، شكل (١٢٩) ، (١٣٢) . أما إذ كان سطح الالتصاق سطحاً غير مستو ، أى تبدو بلورات التوأم متداخلة فإن التوأم فى هذه الحالة تعرف باسم توأم متداخلة penetration twin ، شكل(١٣٣)، مثل توأم معدن فلوريت . والتوأم إما تكون مفردة single أو مضاعفة multiple ، فالتوأم المفردة هى التى تتكون من جزءين اثنين فقط ، شكل (١٣٠) ، وهو يمثل توأم معدن الجبس ، أما التوائم المضاعفة فهى التى تتكون من أكثر من جزءين . والتوأم المضاعفة إما أن تكون عديدة التركيب polysnthetic ، شكل(١٣٤)- توأم معدن البيت - وذلك عندما تكون مستويات التركيب بين أفرادها متوازية. وإما أن تكون مستويات التركيب بين أفرادها مائلة فى هيئة دائرية شكل (١٣٥) - توأم معدن أراجونيت - وذلك عندما تكون مستويات التركيب بين أفراد مائلة فى هيئة دائرية . أما شكل (١٣٦) فيمثل توأم متصالبة لمعدن ستوروليت Staurolite ، ويمثل شكل (١٣٧) توأم فى شكل « الركبة » knee—shaped لمعدن كاسيتريت (SnO_2) .



شكل (١٣٣)　　شكل (١٣٤)

شكل (١٣٥)　　شكل (١٣٦)　　شكل (١٣٧)

(٣) مجموعات البلورات المتجانسة غير المنتظمة :

وهذه كثيرة الانتشار فى الطبيعة حيث تبدو البلورات فى المجموعة غير منتظمة، مثل بلورات الكوارتز التى تتواجد فى العروق veins ، وقد تكون البلورات منتظمة إلى حد قليل حتى لتبدو المجموعة فى هيئة وردة صغيرة rosette أو كرة صغيرة spherulite . وبجانب تواجد مثل المجموعات البلورية المتجانسة غير المنتظمة فى العروق فانها توجد أيضا فى اللوزات amygdules التى توجد مالئة للفقاقيع vesicles فى الصخور البركانية .

(ب) مجموعات البلورات غير المتجانسة Heterogeneous groups

(١) مجموعات البلورات النطاقية : zonal growths : في هذه المجموعات تنمو بلورات المعادن المختلفة في تركيبها الكيمائي موازية بعضها لبعض. وفي العادة تحيط البلورات بعضها ببعض أثناء النمو ، حتى أنها لتبدو في القطاع المستعرض كنطاقات أو أحزمه حول بعضها . وهناك شرط أساسي يجب توافره بين المعادن المختلفة لتكوين المجموعات المتوازية (البلورات النطاقية) وهو أنه لابد أن تكون بلورات هذه المعادن متشابهة في أطوال محاورها البلورية ، وفي الزوايا بين الوجهية ، أي لابد أن تكون بلورات هذه المعادن أو المواد الكيميائية متشابهة البناء isostructural (لها نفس الترتيب الذرى) . فمثلا إذا علقنا بلورة من الشبة الكرومية chrome alum (كبريتات الكروميوم والألومنيوم المائية) ذات اللون الأخضر الداكن في محلول مركز من الشبة البوتاسية potash alum (كبريتات البوتاسيوم والألومنيوم المائية) ذات اللون الشفاف ، فإننا نشاهد البلورة الخضراء وقد أحيطت ببلورة شفافة من الشبة البوتاسية.

وقد يوجد أكثر من نطاقين في البلورة النطاقية . وفي جميع الحالات تتشابه المواد المختلفة الداخلة في تكوين البلورات النطاقية في بنائها الذرى وشكلها البلورى الخارجي. مثل هذه البلورات النطاقية كثيرة الظهور في الطبيعة ، ومنتشرة بين المعادن المختلفة ذات خاصية التبلور المتداخل intercrystallization (أي تكوين بلورات متجانسة تحتوى على عناصر كثيرة ناتجة عن مقدرة بعض العناصر أن تحل مكان جزء أو كل من عناصر أخرى) . ولا يحدث التبلور المتداخل إلا بين المواد المتشابهة البناء isostructural والمتشابهة الشكل isomorphous ، ومن أمثلتها معادن الباجيوكليز Plagioclases (إحلال الصوديوم محل الكالسيوم أو العكس) ، ومعادن البيروكسين Pyroxenes (سليكات حديد ومغنسيوم وكالسيوم وألومنيوم وصوديوم ... الخ) ، ومعادن الامفيبول Amphiboles والتورمالين Tourmaline .

(٢) مجموعات البلورات المنتظمة : وفى هذه المجموعات نجد توازيا جزئيا بين اتجاهات البلورات المختلفة ، بمعنى أن بعض المحاور البلورية متوازى والبعض الآخر غير متوازى . فمثلا قد توجد بلورات من معدل الروتيل Rutile محاطة ببلورة معدن ميكا Mica بحيث يكون اتجاه المحور حـ فى الروتيل موازى لاتجاه المحاور الأفقية فى الميكا.

(٣) مجموعات البلورات غير المنتظمة : وهذه المجموعات تضم بلورات معادن مختلفة وذات إتجاهات مختلفة أيضاً. وهذا النوع أكثر الانواع انتشاراً وشيوعاً بين مجموعات البلورات المختلفة ، فهو الذى يوجد مكونا لكثير من الصخور .

مجموعات المعادن المتبلورة

Crystalline aggregates

توجد كتل المعادن فى الطبيعة فى هيئة مجموعات لوحدات (حبيبات) لها بناء ذرى منتظم ولكن ينقصها الأوجة البلورية ، وعلى ذلك فإن هذه الكتل هى مجموعات معدنية متبلورة ، وتأخذ هذه المجموعات فى الطبيعة أشكالا مختلفة (ولو أن الحبيبات المكونة ليس لها أى شكل بلورى خارجى) . ومن أمثلة هذه الأشكال ما يأتى ، شكل (١٣٨) :

(١) الليافية fibrous ، أبرية acicular عمدانية columnar ، عندما تكون حبيبات المعدن مجموعة فى هيئة ألياف (أسبستوس)، او إبر (جبس) ، أو أعمدة (تورمالين) .

(٢) صفائحية foliated: عندما تكون حبيبات المعدن مجموعة فى هيئة صفائح

(٣) ميكائية micaceous: بلورات المعدن مرصوصة فى هيئة ألواح رقيقة جداً ، مثل معادن الميكا .

(٤) كروية globular: مجموعة حبيبات المعدن فى شكل كرات صغيرة .

(٥) بطروخية oolitic : عندما تكون كتلة المعدن مكونة من حبيبات مستديرة صغيرة تشبه البطارخ (بيض السمك) ، مثل بعض أنواع الهيماتيت .

باسلائية pisolitic : عندما تكون فى هيئة حبات البسلة .

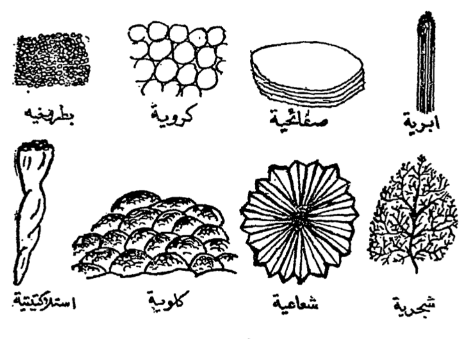
حبيبية granular: عندما تكون حبيبات المعدن فى شكل حبيبات مستديرة كبيرة كانت أو صغيرة .

نتوئية drusy : عندما يغطى سطح المعـــدن بلورات دقيقة بارزة أو ناتئة عليه .

عنقودية botryoidal : مجموعة مكونة من كرات صغيرة ملتصقة ببعضها البعض وتشبه عنقود العنب ، مثل بعض أنواع الكالسيدونى (SiO_2) .

كلوية reniform : كتل مستديرة من المعدن ملتصقة ببعضها البعض ، كل واحدة منها تشبه الكلية kidney ، مثل بعض أنواع الهيماتيت .

شجرية dendritic or arborescent : عندما تصبح المجموعة فى شكل شجرة متفرعة ، مثل بعض أنواع البيرولوسيت (MnO_2) .



شكل (١٣٨)

نجمية أو شعاعية stellate : عندما تكون الوحدات المعدنية المكونة للمجموعة فى هيئة أشعة دائرية ، مثل وفيليت [$Al_3(OH)_3(PO_4)_2.5H_2O$] .

نصلية bladed : مجموعة من وحدات مبططة فى شكل نصل السكين ، مثل كيانيت (Al_2SiO_5) .

استلاكيتية stalactitic : كتل فى هيئة مخروط أو اسطوانة ، مثل بعض أنواع الكالسيت .

كتلية massive : المادة المكونة للمعدن فى هذه الحالة مضغوطة أو مكبوسة فى هيئة كتلة ليس لها شكل معين .

درنية concretionary : عندما تتجمع حبيبات المعدن بالترسيب حول نواة لتكون كتل كروية الشكل تقريبا .

زجيلات geodes : عندما تبطن حبيبات المعدن إحدى الفجوات الكروية تقريباً من الداخل ، فإنه يطلق على هذه الكرة المفرغة من الداخل إسم زجيلة . وغالباً مايكون المعدن مصفوفا banded فى صفوف نتيجة لتعاقب ترسيبها .

لوزية amygdaloidal : كتلة فى شكل اللوزة ، كما فى معادن الزيوليت Zeolites عندما تملأ حبيباتها الفجوات اللوزية الشكل (الناتجة من هروب الغازات والأبخرة) فى الطفوح البركانية .

عدسية lenticular : عندما تكون المجموعة فى هيئة عدسة .

خيطية filiform : عندما تتكون المجموعة من أسلاك رفيعة ، عادة ما تكون منحنية أو منثنية ، مثل الفضة .

شعرية capillary : عندما تتكون المجموعة من بلورات رفيعة جداً مثل الشعر .

معرقة أو شبكية reticulated : عند ما تتكون المجموعة من الياف متشابكة فى هيئة شبكة net ، مثل الفضة .

الباب الثالث

الخواص الكيميائية للمعادن

Chemical Properties of Minerals

قلنا إن المعدن يتميز بتركيب كيميائى خاص ، فقد يكون عنصراً (قلة) أو مركبا كيميائياً (كثرة) . وتعتبر معرفة التركيب الكيميائى للمعادن ذات أهمية كبرى فى دراستنا لها . إذ تتوقف طبيعة المعدن ، وخواصه المختلفة إلى درجة كبيرة على تركيبه الكيميائى . ويمكن التعرف على كثير من المعادن بسهولة بواسطة خواصها الفيزيائية والكيميائية معاً ، ويمكن تعيين العناصر الأساسية فى تركيب المعدن بسرعة بواسطة طرق لهب البورى أو أنبوبة النفخ blowpipe ، وهذه الطرق لاتستلزم جميع الأجهزة والكيماويات الموجودة فى معمل كيميائى ، ولكن تتكون أهم أجهزتها من أجهزة بسيطة .

التحليل الكيميائى بلهب البورى

Analysis by the Blowpipe

يهدف التحليل الكيميائى بلهب البورى إلى التعرف على بعض أو كل العناصر الداخلة فى تركيب المعدن عن طريق عمليات كيميائية جافة dry methods .

يساعد هذا التحليل فى تحقيق المعدن — أو على الأقل تحقيق مكوناته الكيميائية الرئيسية — بطريقة سريعة . ولا تحتاج هذه العمليات الكيميائية إلى أجهزة معقدة ، ولكن — فى معظمها — أجهزة بسيطة ، يمكن توفيرها فى المختبر (المعمل) أو الحقل ، إذ لاتتطلب سوى ما يأتى :

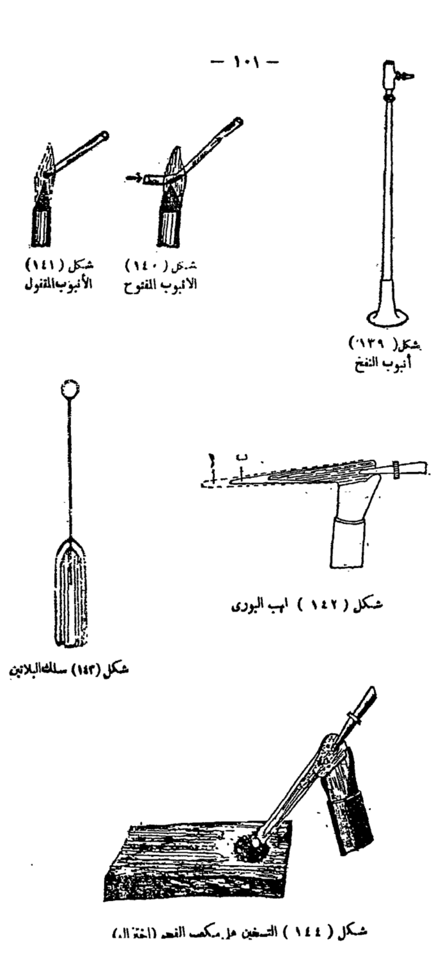
١ — مصدر للحرارة مثل مصباح بنزن أو مصباح كحول أو حتى لهب شمعة، ويمكن التحكم فى حرارة اللهب برفع درجة حرارته ، وذلك عن طريق خلطه بالأكسجين (الهواء) عن طريق النفخ فى أنبـوب النفخ blowpipe ، شكل (١٣٩) . ويستعمل لهب البورى إما لإعطاء اكسدة سريعة للمعدن عند النقطة « ا » فى الطرف الخارجى للهب ، شكل (١٤٢) ، أو اختزال سريع للمعدن ، وذلك بوضعه عند النقطة « ب » فى الجزء الداخلى من اللهب ، شكل (١٤٢) . ويمكن سحب طرف البورى قليلا من اللهب (إلى الخارج) لإعطاء لهب مختزل . ويستلزم الأمر عادة شيئاً من الخبرة للحصول على لهب مستمر وقوى بالنفخ . وتصل درجة حرارة البورى إلى ما يقرب من ١٥٠٠° مئوية .

٢ — حامل لمسحوق المعدن ، وقد يكون مكعبا من الفحم ، شكل (١٤٤) ، (١٤٥) ، أو مسطحا من الجبس ، أو ملقاطا طرفيه مكسوتين بالبلاتين ، أو سلك بلاتين بيد من زجاج ، شكل (١٤٣) ، أو انبوبة زجاجية رفيعة مفتوحة الطرفين « الانبوب المفتوح » شكل (١٤٠) ، أو مفتوحة من طرف واحد فقط « الأنبوب المقفول » شكل (١٤١) . ويمثل شكل (١٤٦) مجموعة الأجهزة المستخدمة فى طرق التحليل الكيميائى باستعمال لهب البورى .

٣ — بضع مواد كيميائية بعضها صلب والبعض الآخر محاليل . والغرض من استخدام هذه المواد الكيميائية يمكن تلخيصه فيما يلى : —

(ا) المساعدة فى صهر المعدن عند تسخينه ، أى أنها مواد مصهرة fluxes مثل البوراكس (بورات الصوديوم المائية) ، والملح الميكروكوزمى (فوسفات الصوديوم والآمونيوم الإيدروجينية المائية) ، وكربونات الصوديوم .

(ب) بعض الأحماض المعدنية ، مثل حامض الهيدروكلوريك وحامض النيتريك وحامض الكبريتيك ، للكشف عن الشق الحامضى . وكذلك محاليل من موليدات الأمونيوم وكلوريد الباريوم وإيدروكسيد الكالسيوم ونترات الكوبالت وفوق اكسيد الأيدروجين ؛ ، بعض المواد الصلبة مثل حبيبات



شكل (١٣٩) أنبوب النفخ

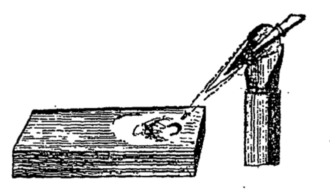
شكل (١٤٠) الأنبوب المفتوح

شكل (١٤١) الأنبوب المقفول

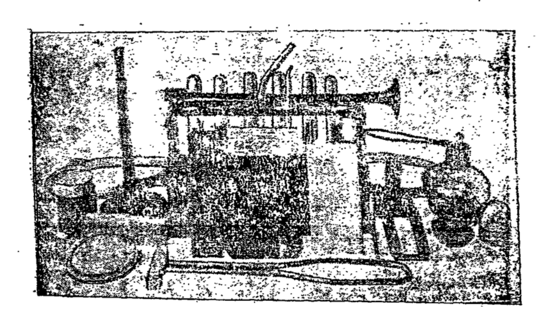
شكل (١٤٢) لهب البورى

شكل (١٤٣) سلك البلاتين

شكل (١٤٤) التسخين على مكعب الفحم (الاختزال)



شكل (١٤٥) : التسخين على مكعب الفحم (أكسدة)



شكل (١٤٦) : مجموعة الأجهزة المستخدمة فى طرق التحليل باستعمال لهب البورى (تضمها حقيبة أو صندوق صغير وتشمل مصباح كحول ومصباح بنزن وأنبوبة النفخ ومطرقة وهون وانابيب زجاجية ومكعبات فحم ومسطحات جبس وسلك البلاتين ومغناطيس صغير وزجاجات ساعة وبعض الكيماويات الصلبة).

القصدير ومسحوق المغنسيوم اللازمة لإجراء بعض التجارب الكيميائية التحليلية البسيطة التي تحقق وجود بعض العناصر .

وفيما يلي بيان بالاختبارات والتحاليل الكيميائية بلهب البوري التي سنصفها بإيجاز (معظمها في هيئة جداول) :

١ — ألوان اللهب الناتجة من التسخين على سلك البلاتين ، جدول (١٢) .

٢ — التسخين على مكعب الفحم: (ا) تكوين الفلز بالاختزال، جدول(١٣)؛ (ب) تكوين الأكسيد والمواد المتسامية بالأكسدة ، جدول (١٤) .

٣ — التسخين على مسطح الجبس (تكوين اليوديد المتسامي) ، جدول(١٥).

٤ — التسخين في الأنبوبة المفتوحة (تيار هواء مؤكسد) ، جدول (١٦).

٥ — التسخين في الأنبوبة المقفولة (تيار هواء مختزل) ، جدول (١٧) .

٦ — اختبارات خرزة البوراكس ، جدول (١٨) .

٧ — اختبارات الكشف عن الشق الحامضي ، جدول (١٩) .

٨ — اختبارات خاصة: التفرقة بين الأراجونيت والكالسيت، الكالسيت والدولوميت ، تحقيق الكاسيتريت .

٩ — ملخص اختبارات الكشف وتحقيق الفلزات المكونة للمعادن (مرتبة أبجديا) . وهي: ألومنيوم ، أنتيمون ، باريوم ، بوتاسيوم ، تنجستن ، تيتانيوم ، حديد ، ذهب ، رصاص ، زرنيخ ، زنك ، زئبق ، سترونشيوم ، صوديوم، فضة، قصدير، كالسيوم ، كروميوم ، مغنسيوم، موليبدنوم ، نيكل ، يورانيوم .

١ — ألوان اللهب الناتجة بالتسخين على سلك بلاتين :

تنتج هذه الألوان، جدول(١٢)، عند تسخين مسحوق المعدن، إما بمفرده أو مبللا بحامض الهيدروكلوريك، أو حامض النيتريك أو حامض الكبريتيك، على طرف سلك البلاتين، شكل (١٤٣)، حيث تلون الجزء الخارجي من اللهب. وفي حالة المعادن التي لا تتحلل بسهولة (مثل معادن السليكات) يحتاج الأمر إلى صهر المعدن المطحون جيداً مع حجم مساوٍ له من الجبس أو الفلوريت أو بيكبريتات البوتاسيوم على سلك البلاتين.

لون اللهب	المادة (العنصر المسبب للون)	ملاحظات
أحمر طوبي	كالسيوم Ca	باستعمال مرشح ضوء أخضر لا يظهر أي لون.
أحمر قرمزي	استرونشيوم Sr	باستعمال مرشح ضوء أخضر يبدو اللون أصفر باهتا. تعطى محاليل الاسترونشيوم راسبا أبيض إذا أضيف إليها حامض الكبريتيك (فرق بينها وبين الليثيوم)
أحمر قرمزي كثيف	ليثيوم Li	باستعمال مرشح ضوء أخضر لا يظهر أي لون.
أصفر	صوديوم Na	واضح ومميز.
بنفسجي	بوتاسيوم K	يتأثر اللون بوجود الصوديوم، وباستعمال مرشح ضوء أزرق يبدو اللون أحمر مائلا إلى الزرقة.
أخضر مائل للاصفرار	باريوم Ba	معادن الباريوم ذات وزن نوعي عال.
أخضر	نحاس Cu	لون اللهب أخضر زمردي باستعمال حامض النيتريك. وأخضر مشوبا بلون أزرق سماوي باستعمال حامض الهيدروكلوريك.
ألوان زرقاء غير مميزة	رصاص Pb	تتكون كرات الرصاص بالاختزال على مكعب الفحم.
	زرنيخ As	تنتشر رائحة الثوم أثناء احتراق المعدن.
	انتيمون Sb	
ألوان خضراء غير محددة	زنك Zn	
	فسفور P	أيضاً موليبدنوم Mo.

جدول (١٢) : ألوان اللهب والعناصر المسببة لها

٢ (أ) — التسخين على مكعب الفحم (تكوين الفلز بالاختزال) :

الكرة الصغيرة	العنصر	ملاحظات
بيضاء ، (طرية) ، غير مطفية عندما تبرد .	الفضة Ag	للتمييز بين الفضة والقصدير ، أذب فى حامض النيتريك ثم أضف حامض الهيدروكلوريك للحصول على راسب أبيض من كلوريد الفضة .
بيضاء ، (طرية) ، مطفية عندما تبرد ، قابلة للطرق ، لاتترك أثراً على الورق .	القصدير Sn	يحصل على الكريات بصعوبة، وقد تتأكسد فى حامض النيتريك إلى الإيدروكسيد الأبيض .
رمادية (طرية) ، لامعة فى اللهب المختزل سهلة الإنصهار ، تترك أثراً على الورق .	الرصاص Pb	للتمييز بين الرصاص والقصدير أذب فى حامض النيتريك ثم أضف حامض الكبريتيك لتحصل على راسب أبيض من كبريتات الرصاص.
صفراء ،(طرية)، تبقى لامعة قابلة للطرق .	الذهب Au	يسهل الحصول على الكريات من التيلوريدات .
حمراء ، (طرية اسفنجية) ، سوداء عندما تبرد .	النحاس Cu	يجب « تحميص » معادن النحاس المحتوية على الكبريت أو الزرنيخ أو الأنتيمون قبل اختبارها على مكعب الفحم .
كريات ضعيفة المغناطيسية .	كوبالت Co	أختبار خرزة البوركس أزرق عميق
	نيكل Ni	أختبار خرزة البوركس بنى مائل إلى الأحمرار فى اللهب المؤكسد.
كريات قوية المغناطيسية .	حديد Fe	أختبار خرزة البوركس صفراء ساخنة وعديمة اللون باردة فى اللهب المؤكسد .

جدول (١٣) : الكريات الفلزية المتكونة بالاختزال على مكعب الفحم وذلك بخلط المعدن بمسحوق الفحم وكربونات الصوديوم والتسخين فى لهب البورى المؤكسد .

٢ (ب) — التسخين على مكعب الفحم (تكوين الأكسيد والمواد المتسامية) :

بالقرب من المعدن المؤكسد وهي ساخنة	الحالة الخارجية للمادة المتسامية	المادة	ملاحظات
أبيض نقي	مائل للاحمرار أبيض	أكسيد السيلينيوم (أحمر) سيلينيوم (أبيض)	تلون المادة المتسامية اللهب المختزل باللون الأزرق .
أبيض كثيف	رمادي الى بني	أكسيد التلوريوم (أبيض) تلوريوم (رمادي)	تلون المادة المتسامية اللهب المختزل باللون الأخضر الباهت
أبيض كثيف	أشهب الى بني	أكسيد أنتيمون	تتكون بكثرة بالقرب من المعدن المتأكسد (أقل تساميا من أكسيد الزرنيخ).
أبيض	أبيض الى أشهب	أكسيد الزرنيخ	تتكون بكثرة بعيداً عن المعدن المتأكسد (له رائحة الثوم).
أبيض	أبيض الى أزرق	كلوريدات النحاس والرصاص والزئبق والأمونيوم والقلويات .	
أصفر خفيف جداً (أبيض في البارد)	أبيض خفيف جداً	أكسيد القصدير	المادة المتسامية يصبح لونها أخضر يميل الى الزرقة إذا بللت بنترات الكوبالت ثم سخنت بشدة .
لون النحاس الأحمر	أبيض	أكسيد الموليبدنوم	تتحول المادة الى لون أزرق إذا سخنت في اللهب المختزل
أصفر قاتم	أبيض يميل للزرقة	أكسيد الرصاص	تتكون مادة متسامية صفراء مائلة للصفرة إذا سخنت مع يوديد البوتاسيوم ، وبيكبريتات البوتاسيوم .
أصفر كناري (أبيض في البارد)	أبيض خفيف جيداً	أكسيد الزنك	تصبح المادة المتسامية خضراء إذا بللت بنترات الكوبالت وسخنت بشدة.
أحمر إلى أحمر قاتم		فضة مختلطة مع رصاص وأنتيمون	تتحول الفضة بالتسخين الشديد لفترة طويلة الى مادة متسامية لونها بني خفيف .

جدول (١٤): المواد المتسامية على مكعب الفحم الناتجة من تسخين المعدن في اللهب المؤكسد.

٣ — إختبارات التسخين على سطح الجبس (مواد اليوديد المتسامية) Iodide Sublimates :

فى بعض الأحيان يكون لليوديدات مظهر مختلف تماما عن ذلك الذى تأخذه الأكاسيد . وللحصول على اليوديد المتسامى فإنه يلزم طحن المعدن طحنا جيداً ثم يبلل بحامض الهيدروأيوديك (HI) أو يخلط بمادة صاهرة مكونة من جزئين بالتساوى من يوديد البوتاسيوم (KI) ، وبيكبريتات البوتاسوم ($KHSO_4$) . ثم يسخن المخلوط على مسطح الجبس (يمكن إستعمال مكعب الفحم كحامل لها) حيث تتكاثف طبقات رقيقة من اليوديد المتسامى ذى الألوان المديدة على الأجزاء الباردة من المسطح ، جدول رقم (١٥) :

بالقرب من المدن المسخن	الحافة الخارجية	المادة	ملاحظات
أصفر برتقالى	أصفر برتقالى	يوديد الرصاص	متسامية .
أصفر إلى برتقالى	أصفر إلى برتقالى	يوديد الزرنيخ	متسامى جداً .
برتقالى إلى أحمر	برتقالى إلى أحمر	يوديد الأنتيمون	يختفى عند تعرضه لأبخرة الأمونيا القوية
أسود إلى أصفر مطفى	أصفر إلى قرمزى	يوديد الزئبق	يحتاج إلى تسخين بشدة .
أحمر إلى قرمزى	أحمر إلى قرمزى	يوديد السيلينيوم	متسامى وأبخرته حمراء .
بنى مائل للاحمرار	بنى مائل للاحمرار	يوديد البزموت	يحول أبخرة الأمونيم لونه إلى أصفر ثم إلى أحمر .
بنى يشوبه إحمرار باهت	بنى دا كن	يوديد التلوريوم	متسامى.
أزرق بحرى دا كن		يوديد الموليبدنوم	

جدول (١٥) : مواد اليوديد المتسامية على مسطح الجبس

(٤) أختبارات التسخين فى الانبوبة المفتوحة Open tube tests :

تستعمل فى هذه التجربة أنبوبة زجاجية قطرها الداخلى حوالى نصف سنتيمتر وطولها حوالى ١٢ سم. ويجب أن تكون هذه الأنبوبة منثنية قليلا بالقرب من أحد طرفيها ، شكل (١٤٠) ، لحمل مسحوق المعدن على هذه الثنية . وتستعمل مثل هذه الأنبوبة المفتوحة الطرفين فى إختبارات الأكسدة التى تطرأ على المعدن عند تسخينه وتسامى بعض الأكاسيد الناتجة وتكثفها على جدران الأنبوبة الداخلية بعيداً عن المعدن المطحون . وتمسك الأنبوبة مائلة أكبر ميل بقدر الإمكان ويسخن الجزء العلوى فوق المعدن ثم السفلى بواسطة لهب البنزن فيسخن الهواء وكذلك المعدن وتعمل الأنبوبة كمدخنه يمر بها تيار مستمر من الهواء الذى يؤكسد المعدن المطحون وتتحول بعض مكوناته إلى أكاسيد غازية أو طيارة يخرج بعضها من طرف الأنبوبة ويتكثف البعض الآخر قرب هذا الطرف عند الجزء البارد من الأنبوبة . وبدراسة خواص لون المادة المتسامية المترسبة يمكن معرفة العناصر المكونة للمعدن . ويبين الجدول رقم (١٦) خواص هذه المواد المتسامية المترسبة فى الأنبوبة المفتوحة والعناصر المسببة لها .

الراسب	اللون	المادة	ملاحظات
أبيض متبلور	أبيض	As_2O_3	طيار (volatile) بلورات ثمانية الأوجه
أبيض متبلور	أبيض	Sb_2O_3	يتسامى ببطء ـ يترسب بالقرب من المعدن فى هيئة حلقة بيضاء ، أما الزرنيخ فيترسب بعيداً .
أصفر باهت	أبيض	MoO_3	بلورات صغيرة بالقرب من المعدن . يتسامى ببطء وتتحول البلورات إلى اللون الأزرق فى اللهب المختزل .
أشهب فلزى	كرات صغيرة	زئبق Hg	يسخن المعدن ببطء حتى تنتج أكسدة كاملة .

جدول (١٦) : خواص المواد المتسامية المترسبة فى الأنبوبة المفتوحة

(٥) اختبارات التسخين فى الأنبوبة المقفولة Closed tube tests :

تستعمل فى هذه الاختبارات أنبوبة زجاجية مقفولة من أحد طرفيها ، طولها حوالى ٨ سنتمترات ، وقطرها الداخلى حوالى ٣ ميلليمترات ، شكل (١٤١) صفحة (١٠١) ، والغرض من إستعمال هذه الأنبوبة هو إختبار خواص المواد الناتجة من تسخين المعدن فى جو مختزل (بعيداً عن الأكسجين) ، وغالباً ما يحدث أن يتفتت المعدن إلى قطع صغيرة أو أن ينصهر المعدن . ولاجراء هذا الاختبار نضع المعدن المسحوق عند الطرف المقفول للأنبوبة ونسخنه فى لهب البنزن . ويبين الجدول رقم (١٧) وصفا مختصراً لبعض الاختبارات داخل الأنبوبة المقفولة .

ساخنة	باردة	المادة	ملاحظات
سائل شفاف	سائل شفاف	ماء	متعادل أو حامض ضعيف.
سائل فلزى رمادى		زئبق	مسحوق المعدن الذاب فى حامض ضعيف يغطى لوح نحاسى بالزئبق
مادة صلبة بيضاء	مادة صلبة بيضاء	كلوريد الرصاص ، كلوريد الانتيمون ، أكسيد الزرنيخوز ، أملاح الأمونيوم .	
سائل أصفر قاتم أو أحمر	بلورات صفراء باهته	كبريت	يتسامى بسهولة .
سائل أحمر قاتم	مادة صلبة صفراء باحمرار	كبريتيد الزرنيخ	يتسامى بسهولة .
مادة صلبة فلزية سوداء لامعة أو مادة متبلورة رصاصية .		زرنيخ	إكسر طرف الأنبوبة المقفل وسخن فتنتشر رائحة الثوم .

جدول (١٧) خواص المواد المتسامية المتكونة فى الانبوبة المقفولة

٦ — اختبارات الخرزة Bead tests :

تكون أكاسيد كثير من الفلزات مركبات معقدة ذات ألوان مميزة إذا أذيبت عند درجات الحرارة العالية فى البوراكس ، أو ملح الفوسفور ، أو كربونات الصوديوم . وتستعمل خرزة فلوريد الصوديوم فى الكشف عن اليورانيوم ، وتستعمل فى هذا الاختبار سلك بلاتين ملفوف فى شكل دائرة صغيرة عند نهايته ، شكل (١٤٣) . ويجب « تحميص » الفلزات غير المؤكسدة وكذا مركبات الكبريت ، والزرنيخ ، والأنتيمون قبل إجراء اختبارات الخرزة عليها ، وذلك حتى تزال جميع المكونات الطيارة وتتحول المادة المتبقية إلى اكسيد. يسخن طرف سلك البلاتين الملفوف ، ثم يغمس فى البوراكس أو ملح الفوسفور أو كربونات الصوديوم حيث تلتصق المادة بالحلقة وتتحول إلى خرزة زجاجية شفافة إذا سخنت فى لهب البورى ، وفى حالة ملح الفوسفور يجب التسخين ببطء إذ أن هذه المادة تميل إلى السقوط من لفة السلك نظراً لهروب الماء والأمونيا .

فإذا جعلنا الخرزة الساخنة تلمس بعض فتات المعدن المطحون (مؤكسد)، ثم سخنا الخرزة فى اللهب المؤكسد للبورى، فإن الخرزة المنصهرة سوف تتلون بألوان مميزة تبعاً للعنصر الموجود .

كما يمكن ملاحظة لون الخرزة فى اللهب المختزل . ويبين جدول (١٨) ألوان خرزة البوراكس . ويمكن خلع الخرزة من سلك البلاتين بفك لفة السلك . ومن ثم يمكن الاحتفاظ بهذه الخرزة أو إجراء تجارب كيميائية عليها . وإذا أريد الكشف عن النيكل فى وجود الكوبالت ، أو أى أكسيد آخر ، مما يؤدى إلى طمس اختبار خرزة البوراكس ، فإننا نلجأ إلى الطريقة التالية : أذب عدداً من خرزات البوراكس فى حامض النيتريك ، ثم أضف محلول الأمونيا حتى يصير المحلول قلويا . أضف إلى الراشح بضع سنتيمترات مكعبة من محلول ثانى ميثيل الجلايوكسيم فى الكحول ، يتكون راسب أحمر قرمزى يدل على وجود النيكل وهذا الاختبار حساس جداً .

اللهب المؤكسد		اللهب المختزل		المادة :	ملاحظات
ساخنة	باردة	ساخنة	باردة	أكسيد الـ..	
شفاف	شفاف	شفاف	شفاف	سليكون ، ألومنيوم ، زنك	أي كمية .
شفاف	شفاف إلى أبيض	شفاف	شفاف إلى أبيض	كالسيوم ، استرونشيوم ، باريوم ، مغنسيوم ، وزنك	أي كمية .
أصفر باهت	شفاف إلى أبيض	أصفر	أصفر إلى بني	تنجستن	كمية متوسطة .
أصفر إلى بني	أصفر	أخضر باهت	شفاف تقريباً	يورانيوم	كمية متوسطة إلى كبيرة .
أصفر إلى بني	أصفر	أخضر	أخضر باهت	حديدوز وحديديك	كمية متوسطه إلى كبيرة.
أصفر إلى بني	أخضر مصفر	أخضر	أخضر	كروميوم	كمية متوسطة إلى كبيرة.
أخضر	أخضر مزرق	شفاف إلى أخضر	أخضر مزرق	نحاس	كميـة صغيرة إلى متوسطة .
أزرق	أزرق	أزرق	أزرق	كوبالت	كميـة صغيرة إلى متوسطة .
بنفسجي	بنفسجي إلى أحمر	شفاف	شفاف	منجنيز	كمية صغيرة .
بنفسجي	بني بحمرة	رمادي عكر	رمادي عكر	نيكل	كميـة صغيرة إلى متوسطة .

جدول (١٨) : ألوان خرزة البوراكس.

(٧) اختبارات الكشف عن الشق الحامضي :

تستخدم الأحماض العادية وبعض المواد الصلبة المساعدة في الكشف عن الشق الحامضي في المادن : كلوريد ، فلوريد ، كبريتيد (بعضها) ، كربونات ، كبريتات ، فوسفات ، سليكات (بعضها) ، جدول (١٩) .

الشق الحامضى	الاختبارات
كلوريد	يتفاعل المعدن المخلوط مع ثانى أكسيد المنجنيز مع حامض الكبريتيك المركز ليعطى غاز الكلور . باستعمال خرزة ملح الصوديوم الفوسفورى (الملح الميكروكوزمى) المشبعة بثانى أكسيد النحاس يعطى مسحوق الكلوريد شعلة من الضوء الأزرق السخى حول الخرزة .
فلوريد	يتفاعل المعدن مع حامض الكبريتيك المركز ليعطى فقاقيع شحمية من حامض الهيدروكلوريك والتى تؤدى إلى ترسيب غشاء أبيض من السليكا على نقطة من الماء تكون موجودة عند طرف الأنبوبة .
كبريتيد (بعضها)	تتفاعل بعض الكبريتيدات مع حامض الهيدروكلوريك لتعطى غاز كبريتيد الأيدروجين. يمكن الكشف عن الكبريتيد أيضاً باختبارات الأنبوبة المقفولة (كبريت متسامى ذولون برتقالى)، والأنبوبة المفتوحة ، ومكعب الفحم .
كربونات	يتفاعل المعدن مع حامض الهيدروكلوريك ليعطى غاز ثانى أكسيد الكربون الذى يعكر ماء الجير .
كبريتات	سخن المعدن على مكعب الفحم مع كربونات الصوديوم ومسحوق الفحم ، ثم ضع الراسب على عملة فضية وبلل بالماء . يدل تكون بقعة سوداء على وجود شق الكبريتات (أو الكبريتيد) .
فوسفات	عند تسخين المعدن مع المغنسيوم فى الأنبوبة المقفولة ، ثم إضافة الماء يتكون الهيدروجين الفوسفورى . يحقق شق الفوسفات أيضاً بتكوين كتله زرقاء منصهرة عند تسخين المعدن على مكعب الفحم ثم يبلل بنترات الكوبالت ثم يسخن بشدة .
سليكات	يتحول المعدن إلى كتلة جيلاتينية بالتفاعل مع حامض الهيدروكلوريك .

جدول (١٩) الكشف عن الشق الحامضى فى المعادن .

٨ — اختبارات خاصة :

التفرقة بين الكالسيت والأراجونيت: (اختبار ميجن Meigen's test)
يغلى مسحوق المعدن لمدة تتراوح بين دقيقة وخمس دقائق فى محلول نترات الكوبالت ذى تركيز يتراوح بين ٥ إلى ١٠ ٪ . يلاحظ أن الكالسيت يبقى أبيض اللون ، بينما يتغير لون الأراجونيت ليصبح بنفسجيا نتيجة لتكوين مركب نترات الكوبالت القاعدية . ويكشف عن التغير فى اللون بسهولة إذا غسل المسحوق الذى فصل من المحلول بعد عملية الغليان . ولما كانت كل من كربونات الاسترونشيوم ، وكذلك راسب كربونات المغنسيوم القاعدية ، تعطى نفس التفاعل مثل الأرجوانيت ، كما يعطى الدولوميت نفس التفاعل مثل الكالسيت ، فإن الإختبار يستلزم أولا التأكد من أن مثل هذا الاختبار يجرى على أحد شكلى كربونات الكالسيوم - حيث أنه بالإضافة إلى ماسبق ذكره ، فإن هذا الاختبار لايمكن تطبيقه على المساحيق التى تمثل خليطا من الأراجونيت والكالسيت .

التفرقة بين الكالسيت والدولوميت: (أ) اختبار ليمبرج Lemberg's Test
يغلى مسحوق المعدن لمدة تتراوح بين ١٥ ، ٢٠ دقيقة فى محلول كلوريد الالومنيوم وخلاصة صبغة الهيماتوكسيلون (logwood dye) [يحضر المحلول بأن يغلى - لمدة عشرين دقيقة - محلول مكون من ستين جراما من الماء مع مخلوط من أربعة جرامات من كلوريد الألومنيوم $AlCl_3$ ، وستة جرامات من خلاصة صبغة الهيماتوكسيلون (صبغة لوج وود) مع استمرار التقليب وأضافة ماء بدلا مما يفقد بالتبخير] . يصبغ الكالسيت فى هذا الاختبار ويصبح لونه أحمر ورديا Pink ، بينما لايتغير لون الدولوميت . يعطى الأراجونيت نفس التفاعل مثل الكالسيت .

(ب) اختبار ماهلر Mahler's test : يستخدم فى هذه الحالة محلول مخفف من نترات النحاس . يعطى مسحوق الكالسيت فورانا شديداً إذا غلى لبضع

دقائق فى هذا المحلول ، ويعقب هذا الفوران تلون حبيبات الكالسيت بلون أخضر ، أما الدولوميت فلا يحدث له أى تغيير فى هذا الاختبار .

اختبار الكاسيتريت : لما كانت معادن الكاسيتريت تتراوح فى لونها بين ظلال مختلفة من الأصفر والبنى والأسود فان ظهور اختلاف فى مظهرها يمكن استخدامه لتحقيق هذه المعادن والكشف عنها . ويتم ذلك بأن نضع بضع كسرات من الكاسيتريت فى أنبوبة اختبار فوق حبيبات من فلز الزنك ، ثم نضيف إلى المخلوط حامض الهيدروكلوريك ، وفى هذه الحالة سوف يختزل الأيدروجين المتولد حديثاً أكسيد القصدير SnO_2 ، وبعد بضع دقائق يصبح الكاسيتريت مغطى بغشاوة رقيقـــة من فلز القصدير ذى البريق الفلزى واللون الأشهب .

٩ — ملخص الكشف عن الفلزات فى المعادن .

(تبعا للترتيب الأبجدى للفلزات)

ألومنيوم (Al) : يعطى مسحوق المعدن المبلل بنترات الكوبالت عند تسخينه بشدة على مكعب الفحم راسباً أزرق غير منصهر .

أنتيمون (Sb) : يعطى مسحوق المعدن المحمص (المؤكسد) على مكعب الفحم قشورا بيضاء قريبة من المسحوق المحمص . يعطى فى الأنبوبة المفتوحة مادة بيضاء متسامية بالقرب من العينة . يعطى فى الأنبوبة المقفولة مادة متسامية بنية اللون مشوبة بالاحمرار، سوداء اللون عندما تكون ساخنة .

باريوم (Ba) : يعطى اختبار اللهب لونا أخضر تفاحيا مصفراً .

بوتاسيوم (K) : يعطى اختبار اللهب لونا بنفسجيا ، عندما يبصر اليه من خلال مرشح زجاجى أزرق اللون .

تنجستن (W) : تتلون خرزة الملح الفوسفورى (الميكروكوزمى) بلون أخضر مشوبا بالورقة فى اللهب المختزل .

تيتانيوم (Ti) : تتلون خرزة الملح الفوسفورى (الميكروكوزمى) بلون أصفر وهى ساخنة ، وبلون بنفسجى وهى باردة ، وذلك فى اللهب المختزل .

حديد (Fe) : تتلون خرزة البوراكس بلون أصفر وهى ساخنة ، وتكون عديمة اللون وهى باردة ، وذلك فى اللهب المؤكسد . ولكن فى اللهب المختزل تتلون الخرزة بلون أخضر زجاجى .

ذهب (Au) : يؤدى الاختزال على مكعب الفحم إلى تكوين خرزة من الذهب طرية قابلة للطرق malleable .

رصاص (Pb) : يؤدى الاختزال على مكعب الفحم إلى تكوين خرزة من الرصاص ذى البريق الفلزى والقابلة للطرق وإذا حكت فى ورقة تركت أثراً أسوداً .

زرنيخ (As) : تؤدى الأكسدة على مكعب الفحم إلى تكوين قشرة بيضاء بعيدة عن مكان التسخين ، كما يمكن شم رائحة الثوم . وإذا سخن المعدن فى الأنبوبة المفتوحة تتكون مادة متسامية بيضاء .

زنك (Zn) : تؤدى الأكسدة على مكعب الفحم إلى تكوين قشرة صفراء اللون وهى ساخنة ، بيضاء اللون وهى باردة . أما إذا سخن المعدن على مكعب الفحم مع نترات الكوبالت ثم أعيد تسخينه بشدة فإنه تتكون قشرة خضراء زرعية اللون .

زئبق (Hg) : يؤدى تسخين مخلوط المعدن مع يوديد البوتاسيوم والكبريت على مكعب الفحم إلى تكوين قشرة صفراء اللون مشوبة بالاخضرار مع تصاعد أبخرة صفراء اللون مخضرة . أما إذا سخن مخلوط المعدن مع مسحوق كربونات الصوديوم ومسحوق الفحم فى الأنبوبة المقفولة فإنه تتكون كريات متسامية من الزئبق .

سترونشيوم (Sr) : يعطى اختبار اللهب لوناً أحمر قرمزياً .

صوديوم (Na) : يعطى اختبار اللهب لونا أصفر .

فضة (Ag) : يعطى الاختزال على مكعب الفحم خرزة من الفضة .

قصدير (Sn) : يعطى الاختزال على مكعب الفحم خرزة من القصدير .

كالسيوم (Ca) : يعطى اختبار اللهب لونا أحمر طوبيا .

كروميوم (Cr) تتلون خرزة البوراكس بلون أخضر ، وكذلك تتلون خرزة الملح الفوسفورى بلون أخضر ، أما خرزة كربونات الصوديوم فتتلون بلون أصفر مشوبا بالاخضرار وتكون معتمة .

مغنسيوم (Mg) : عندما يسخن مسحوق المعدن المبلل بنترات الكوبالت على مكعب الفحم ، ثم يتابع التسخين بشدة مرة أخرى فإنه يتكون راسب وردى اللون .

مولبدنوم (Mo) : تعطى خرزة الملح الفوسفورى لونا أخضر ناصعاً فى اللهب المؤكسد ، بينما تعطى الخرزة فى اللهب المختزل لونا أخضر مشوبا بالسواد وهى ساخنة ، ولونا أخضر سخيا ونقيا وهى باردة .

نيكل (Ni) : تعطى خرزة البوراكس لونا بنيا مشوبا بالاحمرار فى اللهب المؤكسد ، بينما تعطى الخرزة فى اللهب المختزل لونا رماديا معتما .

يورانيوم (U) : تعطى خرزة الملح الفوسفورى لونا أصفر وهى ساخنة ، ولونا أخضر مشوبا بالاصفرار وهى باردة ، وذلك فى اللهب المؤكسد . بينما تتلون الخرزة فى اللهب المختزل بلون أخضر مشوبا بالاصفرار وهى ساخنة وتصبح خضراء ناصعة وهى باردة .

التحليل الكيميائى الكمى للمعادن

يتطلب الأمر فى التحليل الكيميائى الكمى للمعادن تعيين كمية العناصر الداخلة فى تركيب المعدن، سواء أكانت كميات غالبة major ، أم كميات قليلة minor ، أم شحيحة trace . ويتم ذلك باستعمال طرق كيميائية وفيزيائية معقدة ودقيقة ، وتحتاج فى بعض الأحيان إلى بعض الوقت والجهد كما فى طرق التحليل الكيميائى الكمية التقليدية ، الحجميه منها Volumetric والوزنية gravimetric ، التى تستخدم طرق المعايرة والترسيب المعروفة لدى الكيميائى والموجود تفاصيلها فى مراجع علم الكيمياء التحليلية Analytical Chemistry

ويمكن القيام بالتحاليل الكيميائية الكمية باستخدام الطرق الفيزيائية مثل التحليل الطيفى spectrographic anatysis ، والتى تتم عن طريق تبخير (أو حرق) كمية بسيطة من مسحوق المعدن توضع فى حفرة صغيرة فى أحد قطبى الجرافيت فى القوس الكهربائى للجهاز. ويتم تحليل طيف العناصر الموجودة فى المعدن عن طريق منشور الكوارتز أو شبكية دقيقة grating . وبقياس كثافة وطول الموجات المميزة لكل عنصر يتم حساب كمية العناصر الداخلة فى تركيب المعدن . وفى هذا الجهاز يمكن تعيين كمية العناصر الشحيحة التى تصل قيمتها إلى أجزاء قليلة من مليون جزء . وهناك جهاز آخر لا يحتاج إلى سحق المعدن أو حرقه ، إنما تعريض سطح مصقول من المعدن للاشعة السينية التى تحدث عملية تفلر Fluorescence أى انطلاق اشعة أخرى ثانوية من العناصر المكونة للمعدن تتناسب شدتها وكثافتها وطول موجتها مع كمية كل عنصر ونوعه . وتعرف هذه الطريقة باسم طريقة التحليل التفلرى بالأشعة السينية X-Ray Fluorescence. وتستخدم المعامل الحديثة للتحاليل الكيميائية للمعادن أجهزة اليكترونية دقيقة يتم فيها تحليل المعدن وحساب كمية العناصر المكونة له حسابا كميا بطريقة آلية (الجهاز متصل بحاسب اليكترونى) فى دقائق معدودات. ومن أمثلة هذه الأجهزة جهاز Electron microprobe . وهذه الأجهزة دقيقة جداً وتحتاج إلى خبرة فى تشغيلها وصيانتها بالإضافة إلى ثمنها الغالى . ولكن ماتقوم به من

أضعاف مضاعفة من التحاليل فى وقت قصير جداً — إذا قورنت بطرق التحليل التقليدية — وبجهد بشرى بسيط، يبرر تجهيز معامل البحوث ودراسات المعادن بمثل هذه الأجهزة .

ويقدم التحليل الكيميائى الكمى نتائج التحليل فى صورة نسبة مئوية بالوزن لكميات العناصر الداخلة فى تركيب المعدن . ويمكن التعبير عن التركيب الكيميائى « المميز » للمعدن فى صورة قانون يبين أسماء العناصر الداخلة فى تركيب المعدن ونسب اتحادها . فمثلا نعبر عن التركيب الكيميائى الذى يميز معدن هاليت Halite بالقانون NaCl ، والذى يدل على أنه يوجد فى معدن هاليت عدد متساو من ايونات الصوديوم والكلورين متحدة مع بعضها (النسبة ١ : ١) .

القوانين الكيميائية للمعادن Chemical formulae of minerals

تتكون بعض المعادن من مركبات كيميائية بسيطة ، ولكن غالبية المعادن تتكون عن مركبات معقدة . ويحسب قانون المركبات المعدنية البسيطة من نتيجة التحليل الكيميائى بنفس الطريقة التى يحسب بها قانون المـــواد الكيميائية الاخرى .

ويعطى التحليل الكيميائى النسبة المئوية بالوزن لتركيب المعدن ، أو بعبارة أخرى يعطى عدد الاجزاء من العناصر المختلفة (أو أكاسيدها) الموجودة فى ١٠٠ جزء من المعدن . ولحساب قانون المعدن يجب تحويل هذه النسب المئوية بالوزن إلى نسب الذرات . ويتم ذلك بقسمة النسبة المئوية بالوزن لكل عنصر فى المعدن بالوزن الذرى لذلك العنصر . فمثــلا أعطى التحليل الكيميائى لمدن كالكوبايريت Chalcopyrite النتيجة الآتية : (يلاحظ فى هذا التحليل الكيميائى وفى كل التحاليل الكيميائية للمعادن وغيرها أن حاصل جمع النسب المئويه بالوزن لايكون ١٠٠ تماماً . ولكنه فى أحسن الظروف يتراوح بين ٥ر٩٩ و ٥ر١٠٠ وذلك لأسباب تتعلق بطرق التحليل ، وليس نتيجة للمعدن

نفسه . وفى الحسابات الدقيقة يتم تحويل النسبة المئوية التحليل بالوزن من المجموع المختلف عن ١٠٠ إلى ١٠٠ بالضبط) .

العنصر	(١) النسبة المئوية للتحليل		(٢) الأوزان الذرية		(٣) نسبة الاتحاد	(٤) نسب الذرات	(٥)
Cu	٣٤ر٨٩	÷	٦٣ر٥٤	=	٠ر٥٤٩	١ر٠٢١	١
Fe	٣٠ر٠٤	÷	٥٥ر٨٥	=	٠ر٥٣٨	١ر٠٠٠	١
S	٣٤ر٥١	÷	٣٢ر٠٧	=	١ر٠٧٧	٢ر٠٠٢	٢
	٩٩ر٤٤						

ونجد تحت العامودين ٤ ، ٥ نسب اتحاد الذرات فى المعدن فى هيئة أعداد صحيحة (نسب الذرات) ، وقد حصلنا عليها بقسمة القيم الموجودة تحت (٣) بأصغر قيمة (أى قسمناها على ٠ر٥٣٨) ، وفى المثال السابق لمعدن الكالكوبايريت نجد أن هذه النسب تصبح Cu : Fe : S ، = ١ : ١ : ٢ أى أن قانون الكالكوبايريت هو $Cu\ Fe\ S_2$. هذا القانون هو القانون الأولى Emperical Formula لأنه يدلنا على نوع وعدد الذرات الموجودة فى المعدن بدون أى بيان للطريقة التى تتحد بها هذه الذرات .

وفى حالة المعادن التى تحتوى على أكسجين فإن نتيجة التحليل الكيميائى الكمى تعطى فى هيئة نسبة مئوية لأكاسيد العناصر الموجودة فى المعدن ، وليس فى صورة عناصر . ويرجع السبب فى ذلك إلى أنه لاتوجد طريقة تحليل كيميائية لتعيين الكمية الكلية للاكسجين فى المركب . ونتبع نفس الطريقة السابقة للحصول على القانون الكيميائى للمعادن ، إلا أنه بدلا من قسمة نسبة التحليل الكيميائى المئوية بالأوزان الذرية فاننا فى هذه الحالة نقسمها بالاوزان الجزيئية للاكاسيد المختلفة ، ولنأخذ مثلا لذلك معدن الجبس :

الأكاسيد	(١)		(٢)		(٣) الوزن الجزيئى	(٤)	(٥) النسبة الجزيئية
CuO	٣٢ر٤٤	÷	٥٦ر١	=	٠ر٥٧٨	١	١
SO_3	٤٦ر٦١	÷	٨٠ر٠٦	=	٠ر٥٨٢	١ر٠٠٦	١
H_2O	٢٠ر٧٤	÷	١٨ر٠	=	١ر١٥٢	١ر٩٧٩	٢

وفى هذا المثال نجد أن النسبة بين الأكاسيد $CaO : SO_3 : H_2O$ تساوى النسبة ١ : ١ : ٢ فى معدن الجبس . أى أنه يمكننا أن نمثل التركيب الكيميائى لمعدن الجبس بواسطة القانون : $CaO . SO_3 \cdot 2H_2O$ أو $CaSO_4.2H_2O$

أما قوانين المعادن ذات التركيب الأكثر تعقيداً فتحسب قوانينها الكيمائية بطريقة مماثلة ، وبشرط أن ندخل فى حسابنا أن هناك بعض العناصر تحل محل عناصر أخرى فى البناء الذرى للمعدن (عناصر التشابه الشكلى Isomorphous Elements). مثل هذه العناصر المتشابهة يجب معاملتها كمجموعة ، وليس كل على إنفراد ، (أنظر خاصية التشابه الشكلى فى موضوع الخواص الكيمائية البلورية للمعادن فى الباب الخامس) والمثال التالى يبين لنا هذه الحالة بشىء من الايضاح :

معدن الجارنت Garnet :

الأكاسيد	(١) النسبة المئوية للتحليل	(٢)	(٣) الأوزان الجزيئية		(٤) نسب الاتحاد	(٥) النسب الجزيئية
SiO_2	٣٦ر٦٦ ÷	٦٠ر١ =	٠ر٦١١		٣ر٠٩٦	٣
Al_2O_3	٤ر١٨	١٠٢ر٠	٠ر٠٤١	٠ر١٩٧	١ر٠٠٠	١
Fe_2O_3	٢٤ر٨٦	١٥٩ر٦	٠ر١٥٦			
MgO	٠ر٢٥	٤٠ر٣	٠ر٠٠٦	٠ر٦١٣	٣ر١١٢	٣
CaO	٣٣ر٨٩	٥٦ر١	٠ر٦٠٤			
MnO	٠ر٢٠	٧٠ر٩	٠ر٠٠٣			
TiO_2	٠ر١٠	٧٩ر٩	٠ر٠٠٠			
	١٠٠ر١٤					

ويلاحظ فى هذا المثال أننا جمعنا نسب الاتحاد لأكسيد الألومنيوم وأكسيد الحديديك إلى بعضهما البعض ، وذلك لأن عنصرى الألومنيوم والحديد(ثلاثى التكافؤ) يحلان محل بعضهما البعض، وكذلك تحل عناصر المغنسيوم والكالسيوم والمنجنيز محل بعضها البعض، ونتيجة لذلك فقد أضفنا نسبة إتحادها بعضها إلى بعض والنتيجة النهائية هى أن نكتب القانون الكيميائى لمعدن الجارنت كالآتى :

$$3\ (Ca,\ Mg,\ Mn)\ O\cdot\ (Fe,Al)_2\ O_3\cdot 3\ SiO_2$$
$$(Ca,\ Mg,\ Mn)_3\ (Fe,\ Al)_2\ Si_3O_{12}$$

والعناصر المحصورة بين الأقواس يمكنها أن تحل بعضها محل بعض. وهناك معادن أكثر تعقيداً من هذه الصورة ، ولا يمكن الحصول على قانونها الكيميائى بهذه الطريقة وما ذلك إلا بسبب التبلور التداخلى Intercrystallization بين مكونتين طرفيتين end members (مركبان نقيان يذوبان فى بعضهما البعض بأى نسبة ليكونا مادة متجانسة تركيبها الكيميائى يتدرج بين الطرفين) . مثال ذلك معدن البلاجيوكليز الذى يحتوى على كل من الصوديوم والكالسيوم بجانب عناصر الألومنيوم والسليكون والأكسجين ، ونكتب قانونه الكيميائى بالنسبة إلى مكونتيه الطرفيتين « المركبان النقيان » وهما $NaAlSi_3O_8$ « ألبيت Albite » و $CaAl_2Si_2O_8$ « أنورثيت Anorthite » ،وذلك لأن معدن البلاجيوكليز ينتج من التبلور التداخلى للالبيت والأنورثيت . ومن أمثلة البلاجيوكليز الناتج نوع ، اسمه أوليجوكليز Oligoclase ، يكتب قانونه الكيماوى هكذا أب ٨ أن ٢٠ ، ونعنى بذلك أن الأوليجوكليز يتكون من ٨٠ جزءاً ألبيت (يرمز له بالرمز أب Ab) ، ٢٠ جزءاً أنورثيت (يرمز له بالرمز أن An) .

يوضح الأوليفين مثالا آخر لهذه الحالة . فالأوليفين $(Mg,Fe)_2\ SiO_4$ يتكون أساسا من التبلور التداخلى للمكونتين الطرفيتين فورستريت Forsterite Mg_2SiO_4[Fo] و فياليت Fayalite Fe_2SiO_4[Fa] . وعلى ذلك فهناك أوليفين قانونه $Fo_{30}Fa_{70}$ وآخر $Fo_{80}Fa_{20}$ ، الخ.

الباب الرابع

الخواص الفيزيائية للمعادن

Physical Properties of Minerals

سبق أن عرفنا المعدن بأنه كل مادة صلبة متجانسة غير عضوية تكونت بفعل عوامل طبيعية ، ويتميز بأن له بناء ذريا منظما وتركيبا كيميائيا مميزا . وقد رأينا فى الباب الثانى كيف يظهر البناء الذرى المنظم فى هيئة بلورة تحدها أوجه بلورية مرتبة حسب عناصر تماثلية مميزة ، وتميل على بعضها البعض بزوايا ثابتة . وأن كل معدن يمكن التعرف عليه وتمييزه عن معدن آخر إذا وجد فى هيئة بلورة كاملة الأوجه ، أو حتى فى وجود بعض الأوجه . ولكن نظراً لأن المعادن توجد فى الطبيعة ـ فى معظم الحالات ـ فى هيئة مجموعات بلورية متجانسة أو غير متجانسة ، وكذلك فى هيئة مجموعات معدنية متبلورة ، مثل التوائم ، والبلورات النطاقية ، والمجموعات غير المنتظمة والمجموعات الحبيبية والشجرية والعنقودية الخ ، وفى هذه الأخيرة لا توجد أوجه بلورية على مادة المعدن مما يجعل التعرف على المعدن ـ اعتماداً على خواص أوجهه البلورية وتوزيعها ـ مستحيلا ، لذلك فأننا نلجأ إلى طريقة أخرى للتعرف على المعدن وتمييزه عن غيره . هذه الطريقة هى الاستعانة بخواص المعدن الفيزيائية وهى خواص سهلة التعيين . ولما كانت هذه الخواص تتوقف على كل من البناء الذرى والتركيب الكيميائى فإنها فى مجموعها مميزة لكل معدن . والخواص الفيزيائية التالية التى يمكن حصرها فى ستة أقسام يمكن تعيينها فى العينات اليدوية hand specimens دون الحاجة إلى الاستعانة بأجهزة خاصة معقدة غالية الثمن .

أما إذا كانت عينة المعدن صغيرة لدرجة لا تسمح بتعيين هذه الخواص الفيزيائية ، أو أن تعيين هذه الخواص الفيزيائية لم يؤد إلى تحقيق المعدن تحقيقا مؤكدا والتعرف على إسمه ، أو أريد الحصول على معلومات تفصيلية مرتبطة

بالبناء الذرى والوحدة البنائية ، وأبعادها وخواصها التماثلية ، والخواص الفيزيائية التفصيلية للمعدن فإننا نلجأ إلى استخدام أجهزة متخصصة للحصول على هذه المعلومات وتحقيق المعدن ، مثل الميكروسكوب المستقطب (بنوعية للمعادن الشفافة والمعادن المعتمة) ، وحيود الأشعة السينية ، والتحليل الحرارى التفاضلى ، والتحليل الطيفى الامتصاصى بالاشعة دون الحمراء ، كما سيلى الإشارة اليه بإيجاز فى ختام هذا الباب .

١ — خواص بصرية Optical properties : وهذه خواص تعتمد على الضوء ، ومن أمثلتها البريق ، واللون ، وعرض الالوان ، والتضوء ، والشفافية ، والخدش .

٢ — خواص تماسكية Cohesive properties : وهذه خواص تعتمد على تماسك مادة المعدن ومدى مرونتها ، ومن أمثلتها الصلادة ، والانفصام ، والانفصال ، والمكسر ، والقابلية للطرق والسحب .

٣ — خواص كهربائية ومغناطيسية Electical and Magnetic properties وهذه خواص تتوقف على الكهربائية والمغناطيسية ، ومن أمثلتها الكهرباء الحرارية ، والكهرباء الضغطية ، والمغناطيسية .

٤ — الوزن النوعى Specific gravity : أو بمعنى آخر كثافة المعدن بالنسبة لكثافة الماء .

٥ — خواص حرارية Thermal properies : تضم هذه الخواص أنواعا عدة مثل حرارة التكوين ، وحرارة التبلور ، والتوصيل الحرارى ، والتمدد الحرارى ، وحرارة الذوبان ، والقابلية للانصهار . ولكن أهم هذه الخواص بالنسبة للتعرف على المعدن هى خاصية القابلية للانصهار Fusibility .

٦ — خواص أخرى ، (غير سالفة الذكر) : مثل المذاق ، والملمس ، والرائحة، والنشاط الإشعاعى Radioactivity .

١ — الخواص البصرية Optical Properties

البريق Luster

وهو عبارة عن المظهر الذى يبديه سطح المعدن فى الضوء المنعكس . أو بعبارة أخرى هو مقدار ونوع الضوء المنعكس من سطح المعدن . والبريق من الخواص الهامة فى التعرف على المعدن. ويمكن تقسيم بريق المعادن إلى نوعين: فلزى ولا فلزى . وهناك معادن لها بريق وسط بين الاثنين .

البريق الفلزى هو ذلك البريق الذى تعطيه الفلزات . ومن أمثلة المعادن التى لها بريق فلزى بيريت Pyrite (FeS_2) ، وجالينا Galena (PbS) . ومثل هذه المعادن تكون معتمة وثقيلة الوزن .

أما أنواع البريق الأخرى فتوصف بأنها لافلزية . ونلاحظ أن المعادن ذات البريق اللافلزى — بصفة عامة — تكون فاتحة اللون ، وتسمح بمرور الضوء خلالها وخصوصاً فى الأحرف الرفيعة. ويشمل البريق اللافلزى الأنواع الآتية :

بريق زجاجى vitreous or glassy : مثل بريق الزجاج ومن أمثلته بريق الكوارتز .

بريق ماسى : adamantine : مثل بريق الألماس الساطع . ويعطى هذا البريق بواسطة المعادن ذات معاملات الانكسار العالية .

بريق راتنجى resinous : مثل سطح ومظهر الراتنج أو الكهرمان ، ومن أمثلته بريق الكبريت ، وسفاليريت Sphalerite (ZnS) .

بريق لؤلؤى Pearly : ويشبه هذا البريق بريق اللؤلؤ ، ومن أمثلته بريق التلك (الطلق) Mg (OH) Silicate .

بريق حريرى silky : مثل الحرير ، وينتج عن المعادن التى فى هيئة ألياف ، ومن أمثلته بريق أحد أنواع الجبس المعروف بأسم ساتنسبار Satinspar .

بريق أرضى أو مطفى Earthy or dull : عندما يكون السطح غير براق أى مطفى ، ومن أمثلته بريق معدن الكاولين [Al (OH)·Silicate] .

وتبعاً لمقدار الضوء المنعكس من سطح المعدن (أى كثافته) يقال للبريق ساطع splendent أو لامع shining أو براق glimmering أو مطفى dull .

اللون Color

ينتج لون المعدن عن طول الموجة أو الموجات الضوئية التى تنعكس من المعدن وتؤثر فى شبكية العين لتعطى الإحساس باللون . ويعتبر لون المعدن من أولى الخواص الفيزيائية التى تشاهد ، ووسيلة هامة جداً تساعد على التعرف على المعدن بالرغم مما هو معروف من أن اللون لا يمثل صفة أساسية فى المعدن ، إذ كثيراً ما يكون اللون نتيجة لشوائب غريبة تصادف وجودها فى كيان المعدن. وهناك معادن لها لون ثابت يساعد فى التعرف عليها مثل الكبريت (أصفر) والملاكيت Malachite [Cu (OH) Carbonate] (أخضر) ، الماجنتيت Magentite (Fe_3O_4) (أسود) ، السنبار Cinnabar (HgS) (أحمر) .

ويجب ملاحظة لون المعدن على سطح حديث خال من التغيرات التى تطرأ على سطح المعدن المكشوف للعوامل الجوية ، مثل الصدأ والتحلل (الأكسدة والكربنة والتموه) ، التى تسبب تغير اللون الأصلى .

أما المعادن التى ليس لها لون ثابت ، أى التى تظهر ألواناً مختلفة فى العينات المختلفة ، فيعزى اختلاف اللون فيها إلى أسباب عدة . فقد يكون السبب كيمائياً

أى نتيجة لاختلاف التركيب الكيميائى من عينة إلى أخرى، مثل معدن سفاليريت Sphalerite ، الذى يختلف لونه من البنى الأصفر إلى الأسود ، وذلك بسبب كثرة الحديد فى هذه الحالة.وقد يكون السبب فى تغير اللون وجود شوائب تعمل عمل الأصباغ فتصبغ المعدن بلون مخالف للونه إذا كان نقياً،ومن الأمثلة المعروفة أنواع الكوارتز الوردى Rose quartz ، والكوارتز البنفسجى Amethyst والكوارتز الأحمر خفى التبلور cryptocrystalline المعروف بإسم جاسبر jasper إذ تنتج هذه الألوان عن وجود شوائب مثل أكسيد الحديديك (اللون الأحمر) أو أكاسيد المنجنيز (اللون البنفسجى) ، والمعروف أن الكوارتز النقى شفاف اللون . وقد يعزى التغير فى اللون إلى البناء الذرى للمعدن حيث توجد بعض الروابط bonds بين الذرات « مكسرة » ، كما هو الحال فى معدن الكوارتز المدخن Smoky quartz (له لون الدخان) .

وقد يكون اللون موزعا فى المعدن الواحد فى هيئة حلقات أو نطاقات منتظمة حول بعضها البعض مثل معدن أجيت Agate (كوارتز خفى التبلور)، تورمالين Tourmaline (سليكات الألومنيوم والبورون والمغنسيوم والحديد) .

عرض الألوان Play of colors :

يقال للمعدن إنه يظهر عرضاً الألوان عندما يعطى ألواناً مختلفة فى تتابع عندما يدار المعدن ببطء أو عندما نحرك العين بالنسبة إلى المعدن ذات اليمين أو ذات اليسار . ومن أمثلة المعادن التى تعطى عرضاً للالوان الألماس (نتيجة لقوة التفرق الضوئى dispersion)،لابرادوريت Labradorite (سليكات الألومنيوم والكالسيوم والصوديوم (نتيجة لانعكاس الضوء من أسطح مكتنفات صفائحية داخل المعدن) . وخاصية الاوبال أو اللألأة opalescence هى إحدى أنواع عرض الألوان ، ويظهرها معدن أوبال Opal ($SiO_2 . nH_2O$) فى النوع الذى يستعمل فى الاحجار الكريمة ،حيث تنتج الالوان المتلألئة من الانعكاس الداخلى فى المعدن .

أما التصدؤ Tarnish فهو تغير الألوان على السطح نتيجة لتحلل المعدن الاصلى وتكون طبقة سطحية من نواتج التحلل ، أى أن لون السطح يختلف عن لون سطح مكسور حديثاً . ومن أمثلة المعادن التى تظهر التصدؤ النحاس والبورنيت (Cu_5FeS_4) Bornite.

وخاصية عين الهر Chatoyancy هى عبارة عن البريق الحريرى المتموج الذى يتغير باختلاف إتجاه البصر . يظهر مثل هذا البريق المتموج على سطح المعادن ذات النسيج الإليافى (أى وحداتها توجد فى هيئة ألياف) مثل معدن ساتنسبار Satinspar (الجبس الأليافى) .

التضوء Luminescense

يوصف المعدن بأنه متضوىء (أى يعطى ضوءاً) إذا حول الأشكال الأخرى من الطاقة إلى ضوء . وينتج التضوء عن التعرض للحرارة أو الأشعة فوق البنفسجية أو الاشعة السينية إلخ . ويختلف لون التضوء عن اللون الاصلى للمعدن ، وألوان التضوء دائماً ألوان باهرة ساطعة . مثلا ، تعطى بعض أنواع معدن الكالسيت Calcite عند تعرضها للاشعة فوق البنفسجية ألواناً حمراء باهرة ، أما معدن ويلليميت [Zn_2SiO_4] Willemite فإنه يعطى لوناً أخضر ساطعاً . وعندما تنتج ألوان التضوء أثناء التعرض للمؤثر فقط فإنها تعرف باسم التفلر Fluorescence وقد اشتق اسم هذه الخاصية من معدن فلوريت [CaF_2]Fluorite الذى تبدى بعض أنواعه هذه الخاصية . أما إذا استمرت ألوان التضوء عقب زوال المؤثر فإنها تعرف باسم التفسفر Phosphorescence . وقد لوحظت خاصية التفسفر منذ حين عندما كانت تظهر بعض المعادن – التى كانت معرضة لضوء الشمس – ساطعة بألوان جذابة ، بعد نقلها إلى حجرة مظلمة .

وخاصية التفلر أكثر إنتشاراً بين المعادن عن غيرها من أنواع التضوء الاخرى . ومن أمثلة المعادن التى تبدى فى معظم الاحيان خاصية التفلر نذكر – بالإضافة إلى الكالسيت والفلوريت والويلليميت – شيليت Scheelite

($CaWO_4$) ، سكابوليت Scapolite (Na Ca Al Silicate) ، الالماس ، الاوتونيت Autunite (Hydrated Ca U Phosphate). ولا يمكن التنبؤ بخاصية التفلر إذ نلاحظ أن بعض عينات المعدن الواحد تتافر، بينما عينات أخرى لنفس المعدن لا تتفلر .

وتستعمل الاشعة فوق البنفسجية عادة فى الكشف عن خاصيه التفلر، ويجرى الاختبار فى مكان مظلم . والاجهزة المستخدمة تستعمل عادة مصابيح بخار الزئبق أو أنابيب الارجون أو غيرها من مصادر إنتاج الاشعة فوق البنفسجية ، وقد تكون هذه الاجهزة من النوع الثابت الذى يستخدم التيار الكهربائى ، أو من النوع المتنقل الذى يستخدم بطاريات ، حيث يسهل حمل الجهاز والتنقل به ، مما يساعد على استكشاف المعادن المتفلرة داخل الكهوف والمناجم .

الشفافية Transparency

تعبر هذه الخاصية عن قدرة المعدن على إنفاذ الضوء. تعرف المعادن التى تسمح برؤية الاجسام من خلالها بوضوح وبسهولة باسم معادن شفافة transparent. فإذا بدت الاجسام غير واضحة فإن المعدن يعتبر فى هذه الحالة نصف شفاف translucent . أما المعدن المعتم opaque فهو الذى لا يسمح بنفاذ الضوء حتى خلال أحرفه الرفيعة . ومن أمثلة المعادن المعتمة البيريت ، الجالينا ، الجرافيت ، الكالكوبيريت .

الخدش Streak

يقصد بخدش المعدن لون مسحوقه الناعم . ويمكن معرفة لون المسحوق (الخدش) بسهولة بواسطة حك المعدن على سطح لوح من الخزف الابيض المطفى يعرف باسم لوح الخدش streak plate ، وملاحظة لون المسحوق الناتج. وليس من الضرورى أن يكون لون المعدن مثل مخدشه ، فمثلا معدن بيريت لونه

كالنحاس الأصفر ولكن مخدشه أسود ، والكروميت Chromite ($FeCr_2O_4$) لونه أسود ومخدشه بنى . ولما كان المخدش خاصية ثابتة بالنسبة للمعدن الواحد لذلك فإن تعيينه بالنسبة للمعادن ذات الألوان المتغيرة يعتبر ذا أهمية كبرى ، إذ يساعد كثيراً على التعرف على المعدن . كذلك نلاحظ أن كثيراً من المعادن التى تشترك فى لون واحد تختلف فى مخدشها ، فمثلا بعض عينات الماجنتيت (Fe_3O_4) والهيماتيت (Fe_2O_3) والجوتيت ($HFeO_2$) تكون سوداء اللون ، ولكن إذا حققنا مخدشها وجدنا للماجنتيت مخدشا أسود ، فى حين يكون للهيماتيت مخدشا أحمر ، أما الجوتيت فنجد أن مخدشه أصفر بنى .

عندما يكون المعدن صلدا جدا فإنه لا ينخدش على لوح المخدش ليترك أى مسحوق يمكن تمييز لونه ، بل على العكس ربما يخدش اللوح نفسه . وفى مثل هذه الحالة نكسر قطعة صغيرة من هذا المعدن الصلد ونطحنها طحنا كاملا ونشاهد لون المسحوق الناتج .

فى أحوال خاصة نستعمل لوحا خزفياً لامعاً ونشاهد لون الأثر الذى يتركه المعدن عليه ، فقد وجد أن هذا الأثر على اللوح اللامع يساعد فى التفرقة بين معدن الجرافيت ذى المخدش الأسود اللامع وبين الموليدينيت Molybdenite (MoS_2) ذى المخدش المائل للخضرة (كلا المعدنين يشبهان بعضها البعض فى كثير من الخواص الفيزيائية) .

٢ — الخواص التماسكية Cohesive Properties

الصلادة Hardness :

الصلادة لفظ يعبر عن مقدار المقاومة التى يبديها المعدن تجاه الخدش والتآكل . ويمكن تعيين درجة الصلادة بملاحظة السهولة أو الصعوبة التى ينخدش بها المعدن بواسطة دبوس أو نصل سكين حاد . وتتراوح درجة الصلادة فى المعادن بين تلك الدرجة المنخفضة فى معدن التلك Talc الذى يمكن خدشه بواسطة الظفر وتلك الدرجة العالية فى معدن الألماس Diamond الذى يعتبر أصلد مادة

معروفة سواء أكانت طبيعية أم صناعية . وتعتبر الصلادة من الخواص الفيزيائية الهامة للمعدن ، لأنه يمكن تعيينها بسرعة وبذلك تساعد فى التعرف على المعدن . ويمكن تعيين صلادة المعدن تعييناً نسبياً ، وذلك بمقارنتها بصلادة المعادن المرتبة تبعاً لزيادة درجة صلادتها فى مقياس الصلادة المعروف بإسم مقياس موهس للصلادة Mohs scale af bardness الذى يحتوى على عشرة معادن تبتدىء بأقل المعادن صلادة وهو التلك وتنتهى بأكثر المعادن صلادة وهو الألماس ، وبين الأثنين يوجد ثمانية معادن لها أرقام تمثل درجة الصلادة النسبية من ٢ إلى ٩ . وفيما يلى مقياس موهس للصلادة :

١ ـ التلك	Talc	٦ ـ الأرثوكليز	Orthoclase
٢ ـ الجبس	Gypsum	٧ ـ الكوارتز	Quartz
٣ ـ الكالسيت	Calcite	٨ ـ التوباز	Topaz
٤ ـ الفلوريت	Fluorite	٩ ـ الكوارندوم	Corundum
٥ ـ الاباتيت	Apatite	١٠ ـ الألماس	Diamond

فإذا أردنا معرفة صلادة أى معدن اختبرناه بالظفر أو بنصل المزاة لمعرفة موضعه بين المعادن الأخرى ، ثم نجرب على سطحه المعادن المقاربة له ، حتى نحدد موضعه بين المعدن الذى يخدشه والمعدن الذى ينخدش به . مثلا نجد أن معدن البيريت يخدش معدن الأرثوكليز (٦) ، ولكنه لايخدش المعدن الذى يلى الأرثوكليز (ينخدش نفسه بذلك المعدن ـ الكوارتز) . أى أن صلادة البيريت وسط بين صلادة الأرثوكليز (٦) وصلادة الكوارتز (٧) أى ٥ر٦ . فإذا وجد معدنان لهما نفس الدرجة من الصلادة فإنهما يخدشان بعضهما بالتساوى . وعند تجربة قياس درجة الصلادة يجب التمييز بين الانخداش الحقيقى وبين المخدش أى لون المسحوق الناتج من الاحتكاك ، مثل علامه الطباشير مثلا على السبورة (فلا نقول أن الطباشير أصلد من السبورة) ، فالانخداش صفة ثابتة لايمكن مسحها من على سطح المعدن ، ولكن المخدش يمكن مسحه بسهولة . كذلك يجب أن يكون طول الخدش أقصر مايمكن ، بحيث لايزيد عن ربع السنتيمتر حتى لايشوه عينة المعدن .

ويجب ملاحظة أن الأرقام المعطاة للمعادن فى مقياس موهس للصلادة تمثل الصلادة النسبية ، إذ ليس حقيقيا أن صلادة الألماس عشرة أمثال صلادة التلك فإنها أكثر من ذلك بكثير ، كذلك ليس حقيقيا أن الفرق بين صلادة معدن والذى يليه فى مقياس الصلادة المذكور متساو ومنتظم فى كل المقياس ، إذ من المعروف أن الفرق بين ٩ (الكوراندوم) و ١٠ (الألماس) فى مقياس الصلادة يفوق بكثير الفرق بين ١ (التلك) و ٩ (الكوراندوم) .

ويسهل تعيين الصلادة ، على وجه التقريب ، بأستعمال : الظفر ، قطعة نقود نحاسية ، نصل سكين (مطواة) ، قطعة زجاج نافذة ، لوح مخدش ، أو مبرد صلب ، التى لها درجات الصلادة التالية .

الظفر ، حتى ٢ر٥	زجاج النافذة ، حتى ٥ر٥
عملة نحاسية ، حتى ٣	لوح المخدش ، حتى ٦ر٥
نصل سكين ، حتى ٥ر٥	مبرد صلب ، ٦ — ٧ر٠

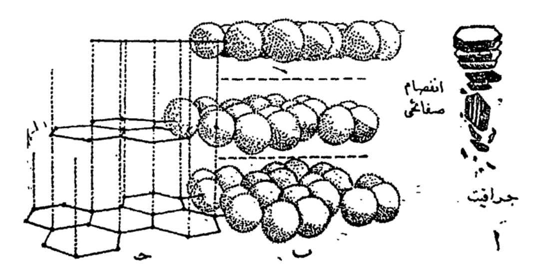
ولما كانت معظم المعادن ذات صلادة أقل من ٦ ، فإن هذا المقياس البسيط يجعل من السهل تعيين الصلادة . على وجه التقريب ، للمعدن سواء أكان ذلك فى المختبر أم فى الحقل .

وعند اختبار الأحجار الكريمة gems يستعمل بائعو المجوهرات المبرد الصلب أو لا ، فإذا «عض» المبرد (أى عمل خدشا صغيرا) فى المادة المختبرة فإن صلادتها تكون أقل من ٧ر٠ . وحيث أن كثيراً من الأحجار الكريمة المقلدة — خصوصاً المصنوعة من الزجاج — لها صلادة أقل من ٧ ، بينما غالبية الأحجار الكريمة الحقيقية لها صلادة أعلى من ذلك ، فإن هذا الاختبار البسيط بواسطة مبرد الصلب يساعد فى التفرقة بين النوعين (المقلد والحقيقى) .

ويبين الجدول رقم ١ — الجزء الثالث من هذا الكتاب — المعادن الشائعة مرتبة تبعاً لصلادتها .

الإنفصام Cleavage

هذه هى الخاصية التى بموجبها ينفصم المعدن أو ينشقق بسهولة فى إتجاهات معينة ، وينتج عنها سطوح جديدة تعرف بأسم مستويات الإنفصام Cleavage planes ، وتمثل هذه المستويات أوجها بلورية ممكنة على بلورة المعدن ، إذ أن الترتيب الذرى الداخلى البورة هو الذى يتحكم فى تكوين واتجاه هذه المستويات الانفصامية، تماما كما يتحكم فى تكوين واتجاه الأوجه البلورية. ويحدث الانفصام دائماً فى المستويات التى تكون فيها الذرات مرتبطة برباط ضعيف، شكل (١٤٧).



شـكل (١٤٧) : الانفصام فى الجرافيت

ينفصم المعدن نتيجة لدقة أو ضغطه فى إتجاه معين بواسطة حرف نصل سكين حاد . ويوصف الانفصام تبعاً لسهولة حدوثه واكتماله بالصفات التالية : كامل perfect ، واضح أو جيد distinct or good ، غير كامل imperfect ، صعب أو ضعيف difficult or poor . وكذلك يوصف الانفصام تبعاً لاتجاهه البلورى فهناك مثلا إنفصام مكعبى {١٠٠} (موازى لأوجه المكعب) كما فى معدن الجالينا والهاليت . أو إنفصام ثمانى الأوجه {١١١} (موازى لأوجه ثمانى الأوجه) كما فى معدن الفلوريت . أو إنفصام معينى الأوجه {$\bar{1}$١٠١} ، {١$\bar{1}$١٠}

(موازى لاسطح معينى الاوجه) كما فى معدن الكالسيت ، أو منشورى {٠١١} (موازى لأسطح المنشور) كما فى معدن الهورنبلند ومعدن الاوجيت ، أوقاعدى {١٠٠} (موازى للمسطوح القاعدى) كما فى معادن الميكا Micas ، ومعدن الجرافيت Graphite ، شكل (١٤٨) .

وعند وصف إنفصام المعدن يجب ذكر درجة السهولة التى يحدث بها ، وكذلك موضعه البلورى ، فمثلا :

معادن الميكا لها إنفصام قاعدى كامل {١٠٠} ، شكل (١٤٨ — ا) .

أرثوكليز له إنفصام قاعدى كامل {١٠٠} ، وانفصام جانبى جيد {٠١٠} .

أباتيت له إنفصام قاعدى ضعيف {١٠٠٠} .

هورنبلند له إنفصام منشورى جيد {٠١١} يتقاطع بزوايا تقرب من ١٢٠° شكل (١٤٠ — ح) .

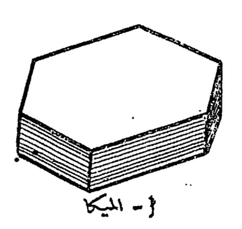
أوجيت له إنفصام منشورى كامل {٠١١} يتقاطع بزوايا تقرب من ٩٠° ، شكل (١٤٨ — ح) .

كالسيت له إنفصام معينى الاوجه كامل {١٠١̅١} ، شكل (١٤٨ — د) .

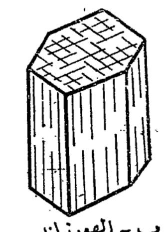
هاليت له إنفصام مكعبى كامل {١٠٠} ، شكل (١٤٨ — ه) :

كوارتز لايوجد به إنفصام بالمرة .

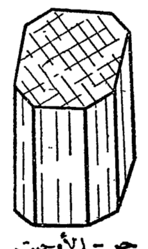
ويدل على الانفصام فى المعدن وجود شروخ أو خطوط منتظمة المسافات والبعد والاتجاهات على سطح ناعم للمعدن ، شكل (١٤٧) ، (١٤٨) . هذه الشروخ أو الخطوط هى عبارة عن الاثر الذى يتركه الانفصام على سطح المعدن وفى هذه الحالات التى نشاهد فيها آثار الانفصام لايوجد مايبرر مطلقا تكسير عينة المعدن أو محاولة فصمها إلى شرائح بواسطة نصل السكين .



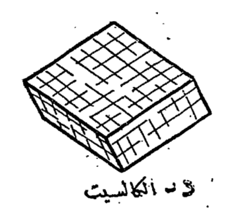
أ - الميكا



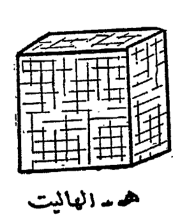
ب - الهورنبلند



حـ - الأوجيت



د - الكالسيت

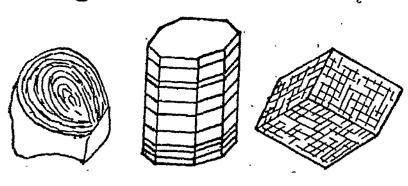


هـ - الهاليت

شكل (١٤٨) : الانفصام في المعادن
أ : قاعدي . ب ، حـ : منشوري .
د : معيني الأوجه . هـ : مكعبي

الانفصال Parting :

هو مستويات ضعف ، شكل (١٥٠) ، مثل الانفصام إلا أنه لايتكون عموما نتيجة للبناء الذرى الداخلى للمعدن ، بل نتيجة لعوامل أخرى مثل الضغط أو التوأمية ..ولما كانت هذه المستويات وخصوصاً المستويات التوأمية موازية لمستويات بلورية فإن الانفصال يشبه الانفصام . ولكن الانفصال يختلف عن الانفصام فى أن الانفصال لايوجد بالضرورة فى جميع عينات المعدن



شكل (١٤٩) انفصام شكل (١٥٠) انفصال شكل (١٥١) مكسر

الواحد ولكن يشاهد فقط فى تلك البلورات التوأمية أو التى تعرضت إلى ضغط مناسب. وحتى فى مثل هذه الحالات التى يشاهد فيها الانفصال فإن عدد مستويات الانفصال فى الاتجاه الواحد محدود، وتبعد هذه المستويات الانفصالية عن بعضها البعض بمسافات غير متساوية عموما. ومن أشهر أمثلة الانفصال الذى يحدث فى المستويات التوأمية والتركيبية (مستويات ضعف فى البناء) ذلك الانفصال القاعدى basal فى معادن البيروكسين، شكل (١٥٠)، والانفصال معينى الاوجه rhombohedral فى الكوراندوم ، والانفصال ثمانى الاوجه octahedral فى الماجنتيت .

المكسر Fracture :

يعرف المكسر بأنه نوع السطح الناتج عن كسر المعدن فى مستوى غير مستوى الانفصام. تعطى المعادن التى ليس فيها إنفصاما مكسرا بسهولة؛ وتستخدم الصفات التالية فى وصف الانواع المختلفة من المكسر .

محارى Conchoidal :عندما يشبه السطح المكسور الشكل الداخلى لصدفة

المحارة shell ، أى يكون فى هيئة خطوط مقوسة دائرية مثل مكسر قطعة سميكة من الزجاج ؛ شكل (١٥١)، ومن أمثلته مكسر الكوارتز .

خشن Uneven : عندما يكون السطح الناتج جاف غير منتظم وهو منتشر بين كثير من المعادن ، مثل البيريت ، والباريت .

مستوى Even عندما يكون المكسر أملس تقريباً .

ترابى Earthy : سطح غير منتظم يعطى بواسطة المعادن الترابية ، مثل الكاولينيت ومعادن البوكسيت .

مسنن Hackly : عندما يكون السطح الناتج عن الكسر ذا أسنان حادة مدببة ، مثل مكسر قطعه من النحاس (شظايا القنابل) .

خاصية الطرق والسحب (التماسك) Tenacity

وهى المقاومة التى يبديها المعدن نحو الطرق والكسر والطحن والانثناء ، أو بالإختصار تماسك المعدن . وتستخدم الألفاظ التالية فى وصف الأنواع المختلفة من تماسك المعادن .

قابل للكسر Brittle : يتكسر المعدن إلى مسحوق بسهولة مثل البيريت .

قابل للطرق Malleable : عندما يمكن طرق المعدن إلى صفائح رقيقة ، مثل الذهب ، والنحاس ، والفضة .

قابل للسحب Ductile : عندما يمكن سحب المعدن إلى أسلاك ، مثل الذهب والنحاس والفضة .

قابل للقطع Sectile عندما يمكن قطع المعـــدن إلى قشور يمكن طحنها مثل الجبس .

قابل للإنثناء Flexible : عندما يمكن ثنى قشور المعدن بالضغط ، وفى هذه الحالة لايعود المعـــدن إلى شكله الأصلى إذا زال الضغط ، مثل الكلوريت Chlorite والمولبدينيت ، والجرافيت.

مرن Elastic : عندما يمكن ثنى قشور المعدن بالضغط ولكن بمجرد زوال الضغط يستعيد المعدن شكله الأصلى مثل البيوتيت Biotite والمسكوفيت .

٣ — الخواص الكهربائية والمغناطيسية

Electrical and Magnetic properties

الكهرباء الحرارية Pyroelectricity

هى الخاصية التى بموجبها تتكون على الأطراف المختلفة لبلورة المعدن شحنات كهربائية نتيجة لتسخينه ، وتوجد هذه الخاصية فى البلورات ذات التماثل الأدنى، خصوصاً البلورات نصف الشكلية hemimorphic (أى التى لها طرفان مختلفان نتيجة لعدم وجود مستوى تماثل بينهما) .

يعتبر معدن التورمالين من أحسن الأمثلة التى تظهر هذه الخاصية ، ولبلورة التورمالين طرفان أحدهما حاد الزاوية وآخر منفرج الزاوية ، فإذا سخنا البلورة فإنه يتولد عند الطرف الحاد شحنات كهربائية موجبة ، بينما يتولد عند الطرف المنفرج شحنات كهربائية سالبة . ويتعرف على السالب من الموجب بواسطة رش البلورة المسخنة بمسحوق مخلوط الكبريت الأصفر وأكسيد الرصاص الأحمر ، فنلاحظ أن أكسيد الرصاص الأحمر ينجذب نحو الطرف السالب التكهرب ، أما الكبريت الأصفر فإنه ينجذب نحو الطرف الموجب التكهرب . وتستعمل بلورات التورمالين - نتيجة لخاصية الكهرباء الحرارية - فى الأجهزة المستخدمة فى قياس درجة حرارة انفجار القنابل .

الكهرباء الضغطية Piezoelectricity

وهى الخاصية التى بموجبها تتكون على أطراف المعدن شحنات كهربائية

نتيجة لضغطه . وتلاحظ الشحنات الكهربائية على الأطراف المختلفة للمحاور البلورية . ومن الأمثلة الهامة لهذه الخاصية معدن الكوارتز الذى يستعمل فى أجهزة الراديو والارسال اللاسلكى للتحكم فى التردد frequency .

المغناطيسية Magnetism

تنجذب بعض المعادن إلى المغناطيس الكهربائى القوى إذا قربت منه فى حين تنفر معادن أخرى من المغناطيس . والمعادن الأولى تعرف بإسم بارا مغناطيسية paramagnetic ، فى حين تعرف الثانية بإسم ديا مغناطيسية Diamagnetic. وتختلف المعادن البارا مغناطيسية من حيث قوة مغناطيسيتها ، فبعضها قوى مثل ماجنتيت (أحد أنواعه المعروفة بإسم حجر المغناطيس Lodestone ويمكنه جذب برادة الحديد) ، والبعض الآخر ضعيف المغناطيسية مثـــل إلمنيت Ilmenite ($FeTiO_3$) . ومن أمثلة المعـــادن الديا مغناطيسية الكوارتز والكالسيت والزرقون . ولهذه الخاصية قيمتها وأهميتها عند فصل خامات المعادن وتركيزها ، كما هو مستعمل فى استغلال الرمال السوداء التى تحتوى على الماجنتيت والألمنيت والجارنت والزرقون والمونازيت .

٤ ـ الكثافة والوزن النوعى Density and Specific gravity

الوزن النوعى للمعدن عبارة عن نسبة كثافة المعدن إلى كثافة الماء (الكثافة النسبية) . ولما كانت كثافة الماء عند درجة ٤ مئوية تساوى الوحدة ، فإن الرقم الدال على الوزن النوعى هو بعينه العدد الدال على كثافة المعدن باستثناء أن الوزن النوعى لا تمييز له (لأنه يمثل نسبة) أما الكثافة فإنها تميز . فمثلا ، الوزن النوعى للكوارتز يساوى ٢٫٦٥ ، أما كثافة الكوارتز فتساوى ٢٫٦٥ جم/سم^3. يدل الوزن النوعى ، إذن ، على نسبة وزن المعدن إلى وزن حجم مساو له من الماء عند درجة حرارة ٤° مئوية .

الوزن النوعى (ن) = $\frac{و}{و - وَ}$

حيث و = وزن المعدن فى الهواء

وَ = وزن المعدن فى الماء

و — وَ = وزن الماء المزاح

= (وزن حجم مساو للمعدن من الماء)

فمثلا عندما نقول أن الوزن النوعى لمعدن الكوارتز هو ٢٫٦٥ فإننا نعنى أن عينة معينه من الكوارتز تزن ٢٫٦٥ مرة وزن حجم مساو لها من الماء. والذهب وزنه النوعى ١٩ يعنى أن الذهب يزن ١٩ مرة وزن حجم مساو لهذه العينة من الماء. والوزن النوعى خاصية هامة مميزة للمعدن، وهى ثابتة لا تتغير (عند درجة معينة من الحرارة والضغط) طالما أن التركيب الكيميائى للمعدن لم يتغير، فإذا تغير التركيب الكيميائى للمعدن نتيجة لإحلال بعض العناصر محل عناصر أخرى فى البناء الذرى الداخلى، مثل إحلال الألومنيوم محل السليكون وإحلال الحديد محل المغنسيوم، فإن قيمة الوزن النوعى للمعدن تتغير تبعاً لذلك الاحلال، وتتراوح بين قيمتين أو نهايتين. فمثلا، يتراوح الوزن النوعى لمعدن الأوليفين Olivine (سليكات الحديد والمغنسيوم) بين ٣٫٢ و٤٫٤ بسبب تغير التركيب الكيميائى للأوليفين، وهل هو غنى بالمغنسيوم (٣٫٢) أو غنى بالحديد (٤٫٤)، أما إذا كان يحتوى نسبة وسطا من المغنسيوم والحديد فإن وزنه النوعى سوف يكون عددا متوسطا بين ٣٫٢ و ٤٫٤.

ويختلف الوزن النوعى أيضاً باختلاف طريقة رص الذرات فى البناء الذرى الداخلى للمعدن. فالمعروف أن الذرات قد ترص نفسها فى مادة البلورة إما فى هيئة سداسية أو ثلاثية أو مكعبية، وينتج عن ذلك أن السنتيمتر المكعب، مثلا، يحتوى فى كل حالة على عدد من الذرات مختلف عنه فى الحالة الأخرى، وبالتالى يختلف الوزن النوعى من حالة إلى أخرى. ومن أمثلة ذلك الكربون ، فقد

توجد ذرات الكربون مرصوصة تبعاً للنظام المكعبى ، [شكل (٦) صفحة (١٣)] ، لتعطى بلورات مكعبة هى معدن الالماس ، وزنه النوعى ٣,٤ ، أو قد توجد ذرات الكربون مرصوصة بنظام آخر هو النظام السداسى ، [شكل (٧) صفحة (١٣)] ، فى بلورات معدن الجرافيت ، وزنه النوعى ٢,٢٥ .

ومن الأسباب التى تؤدى إلى الخطأ فى تعيين الوزن النوعى للمعدن بصفة عامة وجود شوائب مختلطة به ، وكذلك وجود فجوات هوائية ، ولذلك عند تعيين الوزن النوعى لمعدن ما ، يجب التأكد من خلو المعدن من مثل هذه الشوائب والفجوات الهوائية ، كما يجب أن يكون المعدن خاليا من آثار التحلل بفعل العوامل الجوية (التأكسد والكربنة والتموء) كما يجب على دارس المعدن تحرى الدقة التامة أثناء عملية تعيينه للوزن النوعى للمعدن .

ومن بين الطرق العديدة المستخدمة فى تعيين الكثافة النسبية أو الوزن النوعى للجوامد ، نذكر الطرق التالية والتى تعتبر مناسبة للمعادن :

١ — طريقة قياس الوزن مباشرة ، حيث يعين الحجم تبعاً لقاعدة أرشميدس كما هو الحال فى إستعمال الميزان الكيميائى العادى أو موازين خاصة ، مثل ميزان كراوس جولى Kraus-Jolly density balance

٢ — طريقة قياس الوزن مباشرة ، حيث يعين الحجم من وزن السائل المزاح ، كما هو الحال فى قنينة الكثافة المعروفة بإسم البكنومتر .

٣ — طريقة تعيين الوزن النوعى بمقارنته مباشرة بالوزن النوعى لسائل ثقيل عند ما يظل المعدن معلقا فى السائل Suspension method .

١ — طريقة استعمال الموازين :

يعين الحجم بقياس الفقد الظاهرى فى الوزن عندما تغمس قطعة المعدن فى سائل مناسب . ففى هذه الحالة تزيح قطعة المعدن كمية من السائل مساوية لحجمها وتبعاً لذلك ينقص وزن قطعة المعدن ظاهريا بمقدار وزن السائل

المزاح. فإذا كانت $و_١$ تدل على وزن قطعة المعدن فى الهواء ؛ $و_٢$ تدل على وزن قطعة المعدن فى سائل كثافته ث ؛ فإن الوزن النوعى ن يكون .

$$ن = \frac{و_١}{و_١ - و_٢} \times ث$$

ويستخدم الماء عادة كسائل للازاحة ، حيث أنه دائماً متوفر ، ونظراً لأن كثافته تساوى ١ أو قريباً جداً من ١ ، فإننا لانحتاج إلى المعامل ث فى المعادلة السابقة. ولكن فى بعض الأحيان نلجأ إلى استخدام سائل آخر بدلاً من الماء الذى قد يذيب المعدن، أو نظراً لخاصية التوتر السطحى surface tension العالى للماء التى تؤدى إلى عدم بلل wetting المعدن بدرجة كافية مما يؤدى إلى التصاق فقاقيع هواء بسطح المعدن والتى تؤدى بدورها إلى رقم منخفض للوزن النوعى. ولهذا السبب يفضل استعمال سوائل عضوية ذات توتر سطحى أقل من الماء مثل التولوين toluere ورابع كلوريد الكربون .

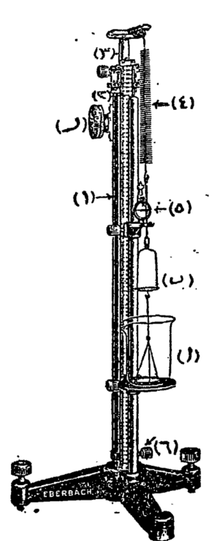
تعتبر هذه الطريقة أسهل طريقة لتعيين الوزن النوعى للمعادن ، ويمكن استخدام الميزان الكيميائى العادى فى تعيينها ولو أنه توجد موازين خاصة لتعيين الوزن النوعى للمعدن بدقة وبسرعة وبطريقة مباشرة ، وتعتمد أساساً على قاعدة أرشميدس ، نذكر منها ميزان « كراوس — جولى » ذى السلك الزنبركى Kraus— Jolly Spring Balance شكل (١٥٢) . ويتكون هذا الجهاز من الأجزاء التالية :

٢ — أنبوبة رأسية خارجية (١) مثبت فيها ورنية vernier داخلية ثابتة

٢ — أنبوبة مستديرة داخلية (٢) تتحرك داخل الأنبوبة الخارجية (١) بواسطة رأس كبيرة حلزونيه الحركة « ر » . ومثبت على هذه الأنبوبة المستديرة ورنية خارجية متحركة ومقياس مدرج من الجانبين . وعندما تتحرك هذه الأنبوبة الداخلية تحمل معها الورنية الخارجية والمقياس المدرج من الجانبين . ويستعمل أحد هذين التدريجين فى قراءة مكان هذا المقياس المتحرك بواسطة

الورنية الثابتة فى (١) ، أما التدريج الآخر فيستعمل فى قراءة مكان السلك الزنبركى بعد غمر المعدن فى الماء بواسطة الورنية المتحركة .

٣ — يوجد بداخل الأنبوبة المستديرة الداخلية عامود معدنى (٣) يمكن تغيير طوله بجذبه من الداخل إلى الخارج وتثبيته عند الطول المناسب . ويحمل هذا العامود السلك الزنبركى (٤) بواسطة ذراع ، ويتدلى فى نهاية السلك الزنبركى دليل (٥) [خلفه مرآة بها خط أفقى] ، ومعلق بالسلك كفتان ا ، ب .



شكل (١٥٢)

ميزان جولى — كراوس لتعيين الوزن النوعى للمعادن

طريقة الاستعمال :

١ — عند بدء استعمال الجهاز يجب ضبطه بحيث يكون المقياس المدرج والورنيتين والدليل (المعلق من السلك الزنبركى) كلها عند الصفر وأن تكون الكفة السفلى مغموسة فى الماء . وتصل إلى هذا الوضع بأن نكيف طول العامود الداخلى الذى يحمل السلك الزنبركى بواسطة اليد ثم نضبطه عند الصفر بواسطة المسمار الحلزونى الدقيق micrometer screw الذى يوجد أسفل الزنبرك مباشرة .

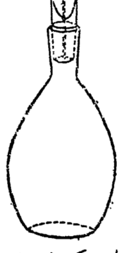
٢ — توضع قطعة المعدن فى الكفة العليا (ب) ، وندير الرأس الكبيرة الحلزونية (ر) فتتحمل معها الأنبوبة المستديرة الداخلية والمقياس المدرج من الجانبين والورنية الخارجية إلى أعلى ، حتى نعيد الدليل إلى الصفر مرة ثانية وفى هذا الوضع تسجل الورنية الداخلية (ثابتة) القراءة « و » على أحد التدريجين

وهى تمثل مقدار الاستطالة فى السلك الزنبركى نتيجة لوزن قطعة المعدن فى الهواء . ويثبت المقياس المدرج عند هذه القراءة بواسطة مسمار حازونى صغير (٦) عند الطرف السفلى للمقياس .

٢ — ينقل المعدن بعد ذلك إلى الكفة السفلى (ا) حيث يغمس فى الماء ، وتحرك الأنبوبة المستديرة الداخلية إلى أسفل بواسطة الرأس الكبيرة الحلزونية (ر) حتى يقرأ الدليل صفرا مرة أخرى . وأثناء هذه العملية تتحرك الورنية الخارجية (متحركة) إلى أسفل بالنسبة للمقياس المدرج (ثبتناه فى المرحلة السابقة) ونأخذ قراءة هذه الورنية فى هذا الوضع ولتكن « وَ » على التدريج الآخر ، وتمثل هذه القراءة مقدار الاستطالة فى السلك الزنبركى نتيجة لوزن المعدن فى الماء (أقل من الاستطالة الأولى بسبب مافقده المعدن فى الوزن نتيجة لغمسه فى الماء) والقراءتين « و » ، « وَ » هما كل المعلومات اللازمة لحساب الوزن النوعى للمعدن ، إذ أن :

$$\text{الوزن النوعى} = \frac{\text{الون فى الهواء}}{\text{مايفقده الوزن فى الماء}} = \frac{\text{و}}{\text{وَ}}$$

٣ ـ طريقة استعمال قنينة الكثافة أو البكنومتر



شكل (١٥٣)
قنينة الكثافة (البكنومتر)
لتعيين الوزن النوعى للمعادن

يستعمل البكنومتر pycnometer شكل (١٥٣) لتعيين الوزن النوعى للقطع الصغيرة من المعادن والأحجار الكريمة . والبكنومتر قنينة صغيرة من الزجاج لها غطاء من الزجاج أيضاً ذو ثقب صغير يمر بطول هذا الغطاء المخروطى الشكل . وفى هذه الطريقة يساوى وزن الماء المزاح حجم قطعة المعدن . فإذا كانت :

ن تدل على الوزن النوعى للمعدن.

ث تدل على كثافة السائل المستعمل (١ فى حالة الماء) .

$و_١$ وزن البكنومتر خاليا من الماء .

$و_٢$ وزن البكنومتر وبداخله المعدن.

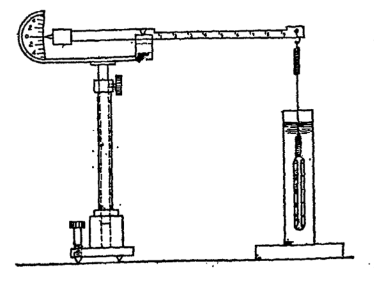
$و_٣$ وزن البكنومتر وبداخله المعدن وممتلئا بالماء.

$و_٤$ وزن البكنومتر ممتلئا بالماء فقط.

$$\text{فإن } ن = \frac{ث\,(و_٢ - و_١)}{(و_٤ - و_١) - (و_٣ - و_٢)}$$

٣ـ طريقة استعمال السوائل الثقيلة Use of heavy liquids

يعين الوزن النوعى للمعدن بمقارنته مباشرة بالوزن النوعى لسائل ثقيل . والقاعدة فى ذلك بسيطة : المعروف أن المعدن الثقيل يسقط إلى القاع إذا غمس فى سائل وزنه النوعى أقل من الوزن النوعى للمعدن . فإذا رفعنا الوزن النوعى للسائل — ويحدث ذلك ، مثلا ، بأن نضيف سائلا آخر له وزن نوعى أكبر يذوب تماما فى السائل الأول — فإنه يمكننا أن نصل إلى درجة من الوزن النوعى للسائل الناتج الجديد بحيث إذا غمس المعدن فيه فإنه لا يسقط ولا يطفو ولكن يأخذ



شكل (١٥٤) ميزان وستفال لتعيين الوزن النوعى للسوائل

مكانا وسطا، أى يظل معلقا فى وسط السائل. وفى هذه الحالة يكون الوزن النوعى للمعدن مساويا الوزن النوعى للسائل. ويمكن فى هذه الحالة تعيين الوزن النوعى للسائل بسهولة وذلك بواسطة استعمال ميزان وستفال Westphal balance، شكل (١٥٤)، حيث يوضع السائل المراد تعيين وزنه النوعى فى المخبار الذى يتدلى فيه الغاطس، ثم توضع أثقال مناسبة على الذراع حتى يبقى الغاطس معلقا فى السائل، والميزان فى حالة إتزان. ويقرأ الوزن النوعى من عدد ونوع وموضع الأثقال المستعملة ويكون هذا العدد هو نفسه الوزن النوعى للمعدن.

وتستعمل السوائل الآتية فى تعيين الوزن النوعى للمعدن.

١ — البروموفورم Bromoform، وزنه النوعى ٢ر٩ .

٢ — سائل ثوليت Thoulet's liquid (يوديد البوتاسيوم والزئبق)، وزنه النوعى ٣ر١٧ .

٣ — يوديد الميثيلين Methylene iodide، وزنه النوعى ٣ر٢ .

٤ — محلول كليريشى Clerici's solution (مالونات وفورمات الثاليوم)، وزنه النوعى ٤ .

والمعروف أن السائلين (٢) و (٤) يمكن تخفيفهما بواسطة إضافة الماء إليهما وبذلك يقل وزنهما النوعى، ويستعاد تركيزهما بتبخير الماء. أما السائل الأول (١) فإنه يخفف بواسطة الكحول النقى، بينما يخفف السائل الثالث (٣) بواسطة البنزول أو الأثير.

وللوزن النوعى أهمية كبرى فى التفرقة بين المعادن. وبعد شىء من المران يمكن أن يتكون لجيولوجى المعادن خبرة وسرعة فى تقدير الوزن النوعى للمعدن بصفة تقريبية بواسطة اليد، فنقول أن المعدن ثقيل أو متوسط أو خفيف كما فى التقسيم التالى الذى يساعد فى التعرف على المعدن:

المعدن خفيف إذا قل وزنه النوعى عن ٢ر٤، مثل الجرافيت.

المعدن متوسط إذا كان وزنه النوعى بين ٢ر٤، ٣ر٢، مثل الكوارتز.

المعدن ثقيل إذا كان وزنه النوعى بين ٣ر٢، ٥ر٠، مثل الباريت.

المعدن ثقيل جداً إذا كان وزنه النوعى أكبر من ٥ر٠، مثل الذهب.

وإذا أريد تعيين الوزن النوعى بدقة فلابد من استعمال أى من الطرق سالفة الذكر . ويبين جدول رقم (٢) - الجزء الثالث من هذا الكتاب - المعادن الشائعة مرتبة تبعاً لوزنها النوعى .

ويستفاد من اختلاف الوزن النوعى فى فصل المعادن والخامات المعدنية وتركيزها . وتستغل الطبيعة أيضاً هذا الاختلاف فى الوزن النوعى فى فرز المعادن sorting . وتجميعها فى أماكن مختلفة، كل بحسب وزنه النوعى . فمثلا، المعادن الثقيلة لاتنتقل مسافات كبيرة وتتركز بالقرب من مصادرها الأصلية ، أما المعادن الخفيفة فيمكن للسيول أو المياه الجارية أو حتى الرياح أن تنقلها إلى مسافات بعيدة عن مصادرها الأصلية وبذلك تفصلها عن المعادن الثقيلة .

وأثناء تبلور المجما Magma - أى المادة المصهورة التى تتكون منها المعادن والصخور النارية - ترسب المعادن الثقيلة إلى القاع بينما تطفو المعادن الخفيفة وتبقى بالقرب من الجزء العلوى للجسم المتبلور .

٥ — الخواص الحرارية Thermal properties

قابلية المعدن للانصهار Fusibility

إذا عرضنا قطعة صغيرة من المعدن لها حروف حادة للهب بواسطة ملقاط، نلاحظ أن بعض المعادن تنصهر فى لهب الشمعة ، فى حين لاتنصهر معادن أخرى فى مثل هذا اللهب ، ولكنها تنصهر فى لهب مصباح بنزن ، ومعادن ثالثة تنصهر فقط فى لهب البورى (لهب البنزن الممزوج بكمية من الهواء) . ومعادن رابعة تستدير حوافها فقط فى لهب البورى ، ومعادن أخيرة لاتنصهر بالمرة ولاتتأثر بلهب البورى ، وتعرف هذه الخاصية باسم قابلية المعدن للانصهار .

وتعيين درجة الانصهار للمعادن من الأمور الصعبة ، وليس له اهمية كبيرة فى التعرف على المعادن، ولكنه ذو فائدة وأهمية فى الدراسات النظرية والبترو - جرافية (دراسة الصخور) . أما لقصد التعرف على المعادن بسرعة فنكتفى عادة بتعيين قابلية الانصهار النسبية ، ويستعمل لهذا الغرض مقياس القابلية للانصهار Scale of fusibility الذى حققه فون كوبل ، جدول (٢٠) .

رقم	المعدن	درجة الانصهار بالتقريب	ملاحظات
١	ستبنيت	٥٢٥° م	ينصهر بسهولة فى لهب الشمعة.
٢	كالكوبيريت	٨٠٠°	تنصهر قطعة صغيرة منه فى لهب البنزن،
٣	جارنت	١٠٥٠°	لاينصهر فى لهب البنزن ولكن ينصهر فى لهب البورى .
٤	أكتينوليت	١٢٠٠°	تنصهر حافة رقيقة من المعدن بصعوبة فى لهب البورى .
٥	أرثوكليز	١٣٠٠°	تستدير حواف القطع الصغيرة بصعوبة فى لهب البورى .
٦	برونزيت	١٤٠٠°	لاينصهر فى لهب البورى وتستدير الحواف بصعوبة .
٧	كوارتز	١٧١٠°	لاينصهر بالمرة فى لهب البورى .

جدول (٢٠) : مقياس قابلية المعادن للانصهار

٦ ـ خواص فيزيائية أخرى :

هناك خواص أخرى لم يرد ذكرها فى أى من الأقسام السالفة مثل اللمس feet والرائحة odour والمذاق taste . وهذه الخواص ولو أنها ليست شائعة أو مميزة فى كثير من الحالات إلا أنها تكون فى بعض الحالات مميزة وتساعد على التعرف على المعدن . ومن الأمثلة المعروفة للمذاق المذاق المالح لمعدن الهاليت . ومن أمثلة الرائحة تلك الرائحة الكبريتية Sulfurous (رائحة ثانى أكسيد الكبريت) الناتجة من حك معدن بيريت FeS_2 Pyrite أو تسخين كثير من المعادن الكبريتيدية ، ورائحة الثوم garlic الناتجة من حك أو تسخين معدن أرسينوبيريت Arsenopyrite (Fe As S) . ومن أمثلة الملمس ذلك الملمس الصابونى أو الدهنى لمعدن التلك ، أو قد يكون الملمس بارداً مثل سطح الفلزات والأحجار الكريمة ، أو قد يكون خشبيا (مثل ألياف الخشب) مثل معدن سبوديومين spodumene (سليكات الالومنيوم والليثيوم)

أما خاصية النشاط الإشعاعي Radioactivity فتنتج عن احتواء المعدن لبعض العناصر المشعة مثل اليورانيوم أو الثوريوم ، وفي هذه الحالة يصدر عن المعدن إشعاعات radiations لا نراها أو نشعر بها ، ولكن إذا عرض المعدن للوح فوتوغرافي حساس فإن هذه الاشعاعات تؤثر على اللوح ، وتترك أثرا وصورة للمعدن المشع بعد تحميض اللوح الحساس autoradiograph ولذلك يمكن الكشف عن هذه المعادن المشعة بواسطة الألواح الفوتوغرافية الحساسة أو بواسطة أجهزة خاصة تتأثر بهذه الإشعاعات وتحولها إلى صوت يمكن سماعه بسماعة الجهاز ، أو تحوله إلى وميض ضوئي يمكن رؤيته . ومن أمثلة هذه الأجهزة ، عداد جيجر Geiger counter ، وهو جهاز صغير سهل الحمل في اليد ، ويساعد كثيراً في الكشف عن خامات المعادن المشعة على سطح الأرض .

والمعروف أن ذرات اليورانيوم والثوريوم تتحلل تلقائيا في الطبيعة وكذلك ذرات نظائر البوتاسيوم ٤٠ والروبيديوم ٨٧ . فأما ذرات اليورانيوم والثوريوم فإنها تتحول في النهاية إلى رصاص وغاز الهيليوم ، كما يتضح من المعادلات الآتية : —

$$U^{238} \rightarrow Pb^{206} + 8He^{4}$$

$$U^{235} \rightarrow Pb^{207} + 7He^{4}$$

$$Th^{232} \rightarrow Pb^{208} + 6He^{4}$$

اما البوتاسيوم المشع فيتحول إلى كالسيوم وغاز الارجون . كما في المعادلة :

$$K^{40} \rightarrow Ca^{40} + A^{40}$$

بينما يتحول الروبيديوم المشع إلى استرونشيوم

$$Rb^{87} \rightarrow Sr^{87}$$

ولما كان معدل التحول من نظير إلى آخر معروف . بالنسبة للعنصر المشع ، فإنه يمكن بعملية حسابية تقدير عمر المعدن (وبالتالي عمر الصخر الذي يحتوي هذا

المعدن) . وقد أمكن تقدير عمر أقدم الصخور على سطح الارض بحوالى ٣٫٩ بليون سنة ، بينما قدر عمر بعض النيازك meteorites التى هبطت على الأرض من الفضاء بحوالى ٤٫٦ بليون سنة . كما قدر عمر الحصوات الصخرية التى جمعت من مادة القمر بحوالى ٤٫٦ بليون سنة . وهذا يعنى أن عمر المادة الصلبة فى النظام الشمسى Solar system الذى يضم الكواكب والاقمار ومن بينها الأرض وقمرها Moon هو حوالى ٤٫٦ بليون سنة .

خواص فيزيائية للمعادن باستعمال أجهزة خاصة

هناك مجموعة أخرى هامة من الخواص الفيزيائية التى تساعد فى تحقيق المعدن - بل وتؤكد تحقيقه فى كثير من الاحوال وتمدنا بمعلومات تفصيلية عن طبيعة المعدن - يتم تعيينها عن طريق استخدام أجهزة خاصة ، وفى هذه الحالة لايتطلب الأمر الحصول على عينات يدوية كبيرة للمعدن ، بل فى كثير من الأحيان لاتتعدى كمية المعدن - موضع الاختبار - جراماً أو بضع ملليجرامات . وتختص بتفاصيل هذه الطرق المراجع المتقدمة فى علم المعادن ، ولكن لغرض إحاطة سريعة بهذه الطرق يمكن تلخيصها تحت العناوين الآتية :

١ - خواص بصرية ميكروسكوبية: Optical microscopic properties

يقوم الميكروسكوب أساساً بعملية التكبير لصور الأجسام التى ترى من خلاله . وتتراوح نسبة التكبير للصورة مابين عشرين ومائة مرة تبعا لقوة العدسات الشيئية والعينية المستخدمة فى الميكروسكوب . وقد تصل قوة التكبير إلى أكثر من الف مرة فى حالة استخدام وسط زيتى بين الشيئية وسطح المعدن بدلا من الهواء . ويختلف الميكروسكوب الجيولوجى عن الميكروسكوب البيولوجى فى ان له مسرحا stage يتحرك دائريا rotating حول محور الميكروسكوب، وليس ثابتا (كماهوالحال فى الميكروسكوب البيولوجى). كذلك

يوجد فى الميكروسكوب الجيولوجى أجهزة مستقطبة للضوء وعدسات إضافية ، كل ذلك لكى يناسب الميكروسكوب دراسة المعادن والصخور (خليط من المعادن) وهى مواد صلبة متبلورة تتفاعل مع الضوء المار بها أو الساقط على أسطحها المصقولة بطريقة تختلف تماما عن المادة الحية التى تتكون منها الكائنات الحية نباتية كانت أم حيوانية . ونتيجه لذلك يساعد الميكروسكوب الجيولوجى فى التعرف على الخواص البصرية التفصيلية للمعادن التى يستحيل التعرف عليها بالعين المجردة .

والمعادن - كما سبق أن ذكرنا تحت عنوان الشفافية - إما أن تكون منفذة للضوء transparent ، مثل الكوارتز والتورمالين والجبس والكالسيت ، وفى هذه الحالة نستعمل الميكروسكوب البتروجرافى The petrographic microscope (يعرف أيضا باسم الميكروسكوب المستقطب Polarizing microscope) ، شكل (١٥٥) ، حيث نتمكن من تعيين خواص بصرية مميزة للمعدن مثل معامل الانكسار refractive index ، والتغير اللونى والانطفاء والزاوية البصرية فى معادن الأطوال الثلاثة (المعينى القائم والميل الواحد والميول الثلاثة) . هذا بالإضافة إلى تفاصيل العلاقة بين الحبيبات والبلورات المكونة للصخر (فى المقطع الرقيق) وهو مايعرف باسم النسيج Texture شكل (١٥٦) .

ويمكن تلخيص الخواص البصريه والمعدنية التى يمكن مشاهدتها وتحقيقها بالميكروسكوب البتروجرافى (الميكروسكوب المستقطب) فى حبيبات وبلورات المعادن المكونة للصخور والرواسب المعدنية المختلفة والتى قد تصل أبعادها إلى أقل من ميلليمتر (مما لا يمكن مشاهدته بالعين المجردة) فيما يلى :

١ — هيئة البلورة habit (منشورية ، هرمية ، إبرية ، الخ) .

٢ — الانفصام ، الانفصال ، الشروخ .

٣ — التضاريس ، الحدود البصرية ، معاملات الانكسار .

٤ — المكتنفات (المحتويات) inclusions والتحلل ونواتجه .

٥ — التوأمية twinning وقوانين التوائم .

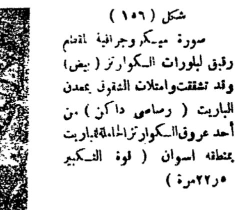
٦ — خواص بصرية مثل ألوان التداخل والانطفاء وعلامة الاستطالة وصور التداخل والعلامة البصرية والتفرق وهذه كلها تتوقف على فصيلة المعدن .



شكل (١٥٥)

الميكروسكوب البتروجرافى (المستقطب) يستخدم فى دراسة المعادن النافذة للضوء وفى دراسة الصخور فى مقاطعها الرقيقة باستخدام الضوء النافذ. وفى الصورة المكبرة للمعدن يمكن دراسة الخواص البصرية للمعدن بالتفصيل وبالتالى تحقيق المعدن والصخر (ميكروسكوب لايتز **Leitz**)





شكل (١٥٦)

صورة ميكروجرافية لمقطع رقيق لبلورات الكوارتز (بيض) وقد تشققت وامتلأت الشقوق بمعدن الباريت (رصاصى داكن) من أحد عروق الكوارتز الحاملة للباريت بمنطقة اسوان (قوة التكبير ٥ر٢٢ مرة)

أما بالنسبة للمعادن المعتمة opaque أى غير المنفذة للضوء ، مثل الذهب والجالينا والكالكوبيريت وسفاليريت ومولبدينيت وهى معادن مكونة لخامات فلزات الذهب والرصاص والنحاس والزنك والمولبدنوم، على التوالى، فإننا نستعمل فى هــــذه الحالة ميكروسكوب الخامات The Ore Microscope شكل (١٥٧) حيث يسقط الضوء - بواسطة جهاز ضوئى عاكس فى الميكروسكوب - عموديا على سطح المعدن المعتم المصقول جيدا (فى العادة ذى بريق فلزى أو شبه فلزى) ليرتد ثانياً إلى العين مكونا صورة مكبرة للسطح الذى سقط عليه حيث تظهر فى الصورة مجموعة المعادن المعتمة الموجودة فى العينة ونسيجها ، شكل (١٥٨) . كما يتسنى لنا بالاستعانة بأجهزة إضافية توصل بالميكروسكوب من تعيين خواص فيزيائية للمعدن المعتم مثل خاصية الانعكاسية reflectivity (أو بعبارة أخرى تعيين خاصية البريق بطريقة كمية quantitative) والصلادة الدقيقة microhardness (تعيين الصلادة بطريقة كمية) وذلك لحبيبات المعدن والتى قد لايتجاوز أبعاد بعضها عن ميلليمتر أو بعض ميلليمتر وذلك بفضل قدرة الميكروسكوب على التكبير magnification والتوضيح resolution . ولا يخلو مختبر لدراسة المعادن الاقتصادية من مثل هذا الميكروسكوب والأجهزة الإضافية المتصلة به .

ويمكن تلخيص الخواص البصرية والمعدنية التى يمكن مشاهدتها وتحقيقها بميكروسكوب الخامات (الميكروسكوب العاكس) فى حبيبات وبلورات المعادن المعتمة المكونة للخامات المعدنية ore minerals فيما يلى :

١ — هيئة البلورة habit (نصلية ، منشورية ، متساوية الابعاد ، الخ)

٢ — الانفصام ، الانفصال ، الشروخ ، التضاريس .

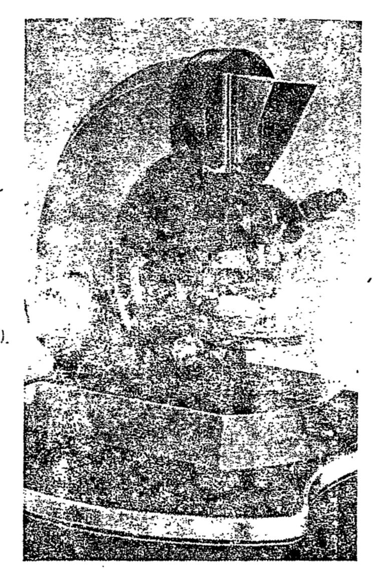
٣ — الصلادة (صلادة الخدش) ، الصلادة الدقيقه indentation .

٤ — الانعكاسية (نوع وكمية الضوء المنعكس من سطح المعدن المصقول)

٥ — المكتنفات (المحتويات فى الحبيبات) ، التحلل .

٦ — التوامية وخواص بصرية أخرى .

٧ — اختبارات كيميائية مجهرية واختبارات تأثير الكيماويات المختلفة على المعادن المختلفة Etch tests .



شكل (١٥٧)
ميكروسكوب
الخامات : يستخدم فى
كراسة المعادن المعتمة
باستعمال الضوء الساقط
عموديا على سطح المعدن
المصقول .
(ميكروسكوب
زايس أوبركوخن)
(Zeiss Oberkoche.)

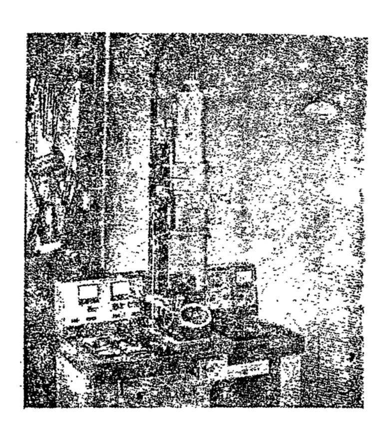


شكل (١٥٨)
صورة ميكروجرافية
لسطح مصقول لحبيبة من
حبيبات الهيماتيت الموجود
فى الحجر الرملى النوبى من
جنوب الصحراء الشرقية
المصرية وتوضح هيماتيت
(ابيض) والمينيت (رصاصى)
وقد انفصلا عند تجمد المحلول
(تكبير ١٢٠٠ مرة)

٢ — خواص ميكروسكوبية اليكترونية Electron Microscopy

يستخدم فى الميكروسكوب الاليكترونى ، شكل (١٥٩) ، بصيص beam من الأليكترونات المندفعة تحت جهد كهربائى كبير (من ٤٠ إلى ١٠٠ كيلو فولت) من فتيل من التنجستن المسخن ، ويكون لها طول موجى فى حدود ٠٥ر٠ من الأنجستروم (أى جزء من مائة ألف جزء من طول الموجات المستخدمة فى الميكروسكوب العادى) . وبدلا من استخدام عدسات زجاجية فى الميكروسكوب العادى يستخدم الميكروسكوب الأليكترونى عدسات مغناطيسية تقوم بتركيز بصيص الأليكترونات عن طريق مجالاتها المغناطيسية . ويعمل الميكروسكوب فى نظام مفرغ من الغازات والأبخرة Vacuum system والذى يتراوح ضغطه مابين جزء من ألف إلى جزء من مائة ألف من الميلليمتر زئبق (الضغط الجوى يعادل ٧٦٠ ميلليمترا من الزئبق) ويقوم بهذا التفريغ طلمبة غازية خاصة بالجهاز .

يقوم الميكروسكوب الأليكترونى ، شكل (١٥٩) - فى مجال علم المعادن - بدراسة الظواهر المورفولوجية للحبيبات المعدنية دقيقة التبلور . وتؤدى هذه الدراسة إلى كشف التفاصيل فى البناء الدقيق للمعادن ، والذى قد يصل فى صغر أبعاده إلى مايقرب من عشرة أنجستروم (جزء من عشرة ملايين جزء من الميلليمتر) . وعلى ذلك فإن الميكروسكوب الأليكترونى يقوم فى المقام الأول بعملية التكبير ، شكل (١٦٠) ، وبالتالى توضيح التفاصيل الدقيقة . وتصل قوة التكبير بالميكروسكوب الأليكترونى إلى مائة الف مرة أو يزيد . وهناك نوع متطور من الميكروسكوب الأليكترونى يعرف باسم الميكروسكوب الأليكترونى المساح Scanning electron microscope ، ويمتاز عن الميكروسكوب الاليكترونى العادى بامكانياته الكبيرة للتكبير لمساحات أكبر من سطح الجسم المراد تصويره وبذلك يتيح لنا دراسة واضحة مكبرة تبدو وكأنها مجسمة فى الابعاد الثلاثة مما يساعد على تحقيق الحبيبات المجهرية الدقيقة جداً والتعرف على مكوناتها وهيئتها وأشكالها .



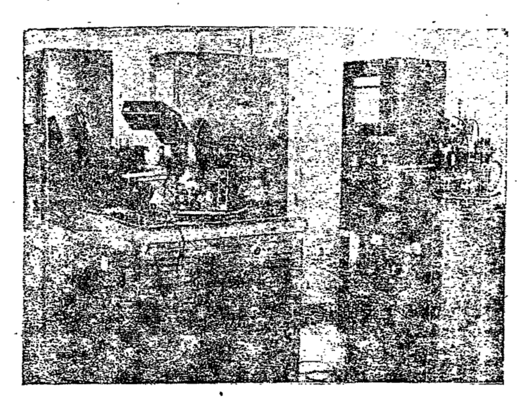
شكل (١٥٩)
الميكروسكوب الاليكتروني يقوم بدراسة الظواهر المورفولوجية للحبيبات المعدنية دقيقة التبلور حيث تبدو التفاصيل واضحة في صوره تبلغ درجة التكبير فيها مائة الف مرة أو يزيد
(AEI, England)



شكل (١٦)
صورة لحبيبات معدن كاولينيت من الطفلة المصرية المصرية (من العصر الكريتاوي «الطباشيري») مكبرة ثلاثون الف مرة (٣٠٠٠٠) بالميكروسكوب الاليكتروني .

٣ — خواص حيود الأشعة السينية X- Ray diffraction :

يستخدم فى تعيين هذه الخواص جهاز التحليل بالأشعة السينية . شكل (١٦١) :

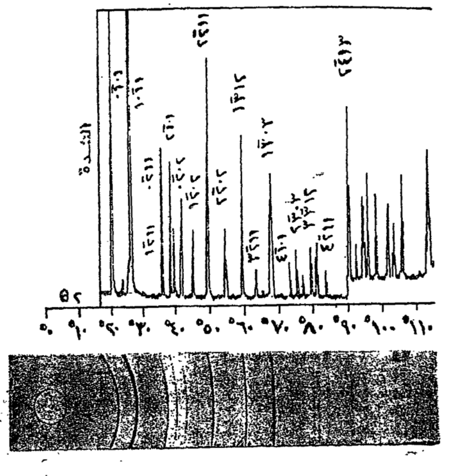


شكل (١٦١) : مختبر مجهز بجهازين لتحليل المعادن بالأشعة السينية

حيث تتولد الأشعة السينية ،التى يتراوح طول موجاتها من ٠٫٢ إلى ١٠٠ وحدة أنجستروم ، نتيجة لارتطام الأليكترونات الصادرة من فتيل ساخن للتنجستن (الكاثود) المندفعة تحت جهد عال (٤٠ كيلو فولت) بفلز الأنود (Target) الذى قد يكون تنجستن أو حديد أو موليبدنوم أونيكل . وتتوقف طول الموجات الناتجة على نوع فلز الأنود . وفى العادة تستخدم الموجات التى يقرب طولها من واحد انجستروم فى دراسة البناء الذرى للمعادن والتعرف عليه . فى حين أننا نستعمل فى الميكروسكوب الجيولوجى موجات الضوء التى يتراوح طولها بين ٤٠٠٠ ، ٧٢٠٠ أنجستروم .

وتبعاً لقانون بلانك Planck's law نجد أن موجات الأشعة السينية أكبر طاقة وتعمقا من موجات الضوء المنظور .

ولما كان طول موجات الأشعة السينية يتناسب مع أبعاد المسافات بين المستويات الذرية فى البناء البلورى للمعادن (كلاهما يقاس بوحدات أنجستروم) فإن هذا يؤدى إلى حيود الأشعة السينية بمجرد مرورها فى بلورات المعادن لتنتج لنا صوراً أو تسجيلا لمنحنيات ، شكل (١٦٢) تعبر تعبيراً صادقاً ـ بعد تحليلها بطرق علمية خاصة ـ عن البناء الذرى المنتظم لبلورة المعدن موضع الاختبار ، مما يؤدى إلى تحقيق المعدن والتعرف عليه ، بل ويتعدى الأمر إلى إمكانية تعيين

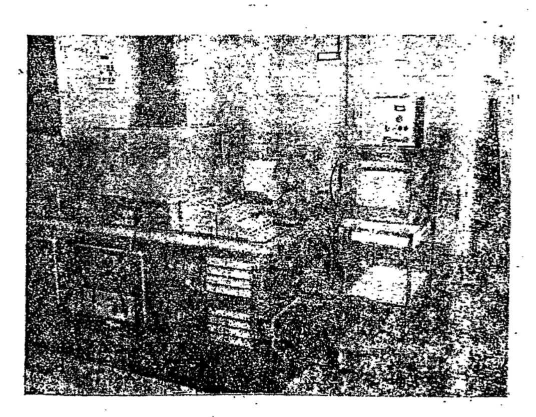


شكل (١٦٢) صورة فيلم لحيود الأشعة السينية لمسحوق الكوارتز (الصورة السفلى) ومقارنة بتسجيل بيانى لشدة حيود الأشعة (الصورة العليا) المنعكسة من المستويات الذرية فى بلورة الكوارتز ومبين عليها دليل المستوى البلورى الذى أعطى الانعكاس قرين كل .

الأبعاد المطلقة للوحدة البنائية unit cell التى تتكون منها بلورة المعدن ، وعناصر التماثل المعبرة عن توزيع الذرات داخل الوحدة البنائية ، وأخيراً تعيين مواقع الذرات داخل الوحدة البنائية ـ أى تعيين البناء الذرى Crystal Structure للمعدن ـ وهو ما يصبو إليه عالم المعادن ،

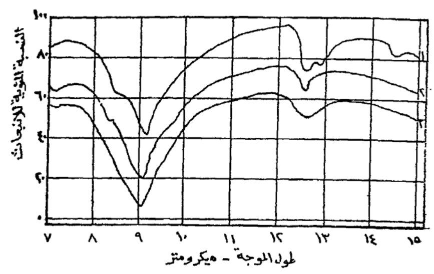
٤ ـ خواص الوحدة المكونة للشق الحامضي للمعدن :

(سليكات ، فوسفات ، كبريتات ، كربونات ، نترات ، كبريتيدات ، الخ) يستخدم لهذا الغرض جهاز التحليل الطيفي الامتصاصي بالأشعة تحت الحمراء Infrared absorption spectroscope ، شكل (١٦٣) . والأشعة تحت الحمراء المستخدمة في هذا الجهاز ذات موجات أطول من الموجات الحمراء (نهاية الطيف الضوئي المنظور) وبالتالي لها طاقة أقل منها (تبعاً لقانون بلانك) وهذه الموجات ينتج عن تفاعلها (excited) بمجموعات الذرات والجزيئات الداخلة في التركيب الكيميائي للمعدن (والمواد الصلبة بصفة عامة) أنماط خاصة من الذبذبات والدورانات ، تسجل في لوحة بيانية في الجهاز في هيئة منحنيات ذات أشكال معينة . هذه المنحنيات هي « صورة » أو « بصمة » ، شكل (١٦٤) ، للقانون التركيبي للمعدن وذلك دون اللجوء إلى الاختبار أو التحليل الكيميائي . ونظراً لتناسب أطوال الموجات تحت الحمراء المستخدمة



شكل (١٦٣) : جهاز التحليل الطيفي الامتصاصي بالأشعة تحت الحمراء (لايتز Leitz)

مع أبعاد الذرات ، والجزيئات ، فى الوحدة الكيميائية فى تركيب المعدن ، فإن ، الصورة ، الناتجة عن عملية امتصاص الطاقة الموجية المستخدمة بواسطة الوحدة الكيميائية تعتبر مميزة لهذه الوحدة الكيميائية وبالتالى تساعد فى تحقيق المعدن ، شكل (١٦٤) .

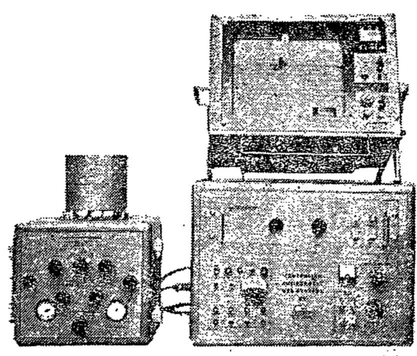


شكل (١٦٤) : طيف الامتصاص بالاشعة تحت الحمراء لمعادن السليكا :
(١) كوارتز (٢) كريستوبلايت (٣) أوبال .

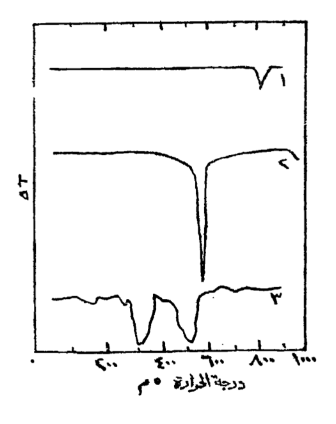
٥ ـ خواص التحليل الحرارى التفاضلى

Differential Thermal Analysis (D.T.A.)

يستخدم فى هذا الاختبار جهاز التحليل الحرارى التفاضلى ، شكل (١٦٥) ، ويتم فى هذه التجربة تسخين مسحوق المعدن تسخينا متدرجا منتظما فى فرن كهربائى إلى مايقرب من ألف درجة مئوية أو يزيد . ويسجل مايحدث من تغيرات فى البناء الذرى للمعدن وتركيبه الكيميائى وذلك بالمقارنة بمسحوق كيميائى خامل لايتأثر بالتسخين . عن طريق استخدام توصيلة كهربائية بين الاثنين من نوع مايعرف باسم « differential thermocouple » . ويظهر هذا التسجيل فى صورة منحنى . شكل (١٦٦) ذى قمم عليا (إعطاء حرارة) وقيعان سفلى (امتصاص حرارة) ولما كان لكل معدن منحنى مميز . فإنه يمكن بذلك تحقيق المعدن .



شكل (١٦٥) جهاز التحليل الحرارى التفاضلى (Stone ، U.S.A.)



شكل (١٦٦) منحنيات التحليل الحرارى التفاضلى لبعض المعادن الهاليدية : (١) هاليت، (٢) كريوليت، (٣) اتاكاميت .

الباب الخامس

الخواص الكيميائية البلورية للمعادن

(العلاقة بين التركيب الكيميائى والبناء الذرى للمعادن)

Crystal Chemistry of Minerals

لاحظنا عند دراسة الخواص البلورية للمعادن كيف أنه توجد معادن تتداخل بلوراتها أثناء النمو لتكون باورات نطاقية zonal growths ، وأن هذه البلورات المتداخلة بالرغم من أنها مختلفة فى التركيب الكيميائى إلا أنها متشابهة فى كل من الشكل البلورى والبناء الذرى ، ومعنى هذا أن الذرات ولو أنها مختلفة من الناحية المادية إلا أنها متشابهة فى حجمها، وفى مواضعها داخل البلورة وبذلك يمكنها أن تحل محل بعضها مما يدل على وجود علاقة بين التركيب الكيميائى والبناء الذرى (أو الشكل البلورى) للمعادن .

وقد رأينا كذلك ، كيف يتغير الوزن النوعى للمعدن — لا على أساس إختلاف التركيب الكيميائى كما هى القاعدة والأصل — ولكن على أساس إختلاف ترتيب الذرات داخل بناء البلورة . وهذا الاختلاف ليس قاصراً على الوزن النوعى فحسب ، ولكنه يمتد إلى جميع الخواص الفيزيائية الأخرى للمواد ذات البناء الذرى المختلف ، أو بمعنى آخر يمكن أن توجد المادة الكيميائية الواحدة فى أكثر من شكل بلورى واحد . وهذه علاقة أخرى بين التركيب الكيميائى والبناء الذرى (أو الشكل البلورى) للمعادن .

هذه أمثلة مرت بنا وتشير إلى وجود علاقة من نوع أو آخر بين التركيب الكيميائى والبناء الذرى للمعدن . مثل هذه العلاقة الكيميائية البلورية كانت معروفة منذ وقت طويل، ولكن نظراً إلى أهميتها الكبيرة فقد كرست لها أبحاث ودراسات كثيرة فى السنوات الأخيرة، مما جعلها تنمو لتكون علما جديداً يعرف بإسم الكيمياء البلورية Crystal Chemistry وهو علم متفرع تختص معظم محتوياته بتطبيقاتها وحلولها للمعادن ومشاكلها المختلفة ، وارتباط خواصها الفيزيائية بالتركيب الكيميائى والبناء الذرى .

ومن الأسباب التي حدت بنا إلى دراسة هذه العلاقات الكيميائية البلورية ، وفهمها على أساس علمي صحيح ، الملاحظات والأسئلة المحيرة التي نتجت عن محاولتنا تصنيف المعادن على أساس تركيبها الكيميائي، ففي هذا التصنيف الكيميائي للمعادن نجد المعادن مصنفة إلى أقسام على أساس الشق الحامضي أو المجموعة الحامضية الموجودة في المعدن , أي صنفت المعادن إلى كبريتيدات ، أكاسيد ، كلوريدات ، كربونات ، كبريتات ، فوسفات ، سليكات .

وفي مثل هذه الحالات التي ننظر فيها إلى المعادن من زاوية واحدة، ألا وهي التركيب الكيميائي ـ تصادفنا أسئلة محيرة من النوع الآتي :

لماذا تشذ المعادن كثيراً في خواصها عن الخواص التي نتوقعها لها على أساس التركيب الكيميائي فقط ؟

كيف نعلل وجود المعادن متعددة الأشكال Polymorphous (مثل الجرافيت والألماس) ؟ .

لماذا يؤثر الشق الحامضي anion على خواص معظم المركبات أكثر مما يؤثر الشق القاعدي cation ؟

ما هو العامل المشترك بين المعادن متشابهة البلورات ولكنها مختلفة في التركيب الكيميائي ؟

ويجب علينا أن نجيب على هذه الأسئلة وكثير غيرها قبل أن نتوصل إلى معرفة كافية لطبيعة المواد المعدنية .

وقبل أن نبدأ في الإجابة عن هذه الأسئلة وشرح العلاقات المختلفة بين التركيب الكيميائي والبناء الذري يجدر بنا أن نفسر قليلا بعض خواص البناء الذري للمعادن Atomic structure of minerals

البناء الذري للمعادن :

نقصد بالبناء الذري للمعدن المعلومات الرئيسية الثلاثة التاليه :

١ — الترتيب الهندسي في الفراغ للذرات والجزيئات والأيونات التي تكون وحدات البناء في المادة .

٢ — درجة التقارب بين هذه الوحدات البنائية وطريقة رصها وتعبئتها في المادة.

٣ - نوع القوى الكهربائية التي تربط بين هذه الوحدات البنائية وخواصها .

١ - الترتيب الهندسي الفراغي للذرات والأيونات :

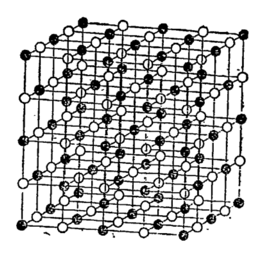
توجد هذه الوحدات البنائية مرتبة داخل البلورة فى نظام هندسى يخضع لعناصر تماثلية معينة ، ويعكس هذا الترتيب الذرى الداخلى نفسه فى الخارج فى هيئة الأوجه البلورية المنظمة التوزيع ، وقد رأينا أمثلة لهذه النظم الهندسية فى دراساتنا السالفة للبلورات والخواص البلورية للمعادن . لقد درسنا فقط سبعة نظم بلورية هى النظم الأعلى تماثلا فى الفصائل البلورية ، ولكن يوجد بجانب هذه نظم أخرى اقل تماثلا ، إذا أضيفت إلى السبعة كان المجموع ٣٢ نظاما بلوريا 32 classes of symmetry ، تمثل الطرق الممكنة لترتيب الذرات والأيونات تبعاً لعناصر التماثل الخارجية ومجموعاتها . ولكن إذا أضيفت إلى هذه العناصر عناصر أخرى تماثلية داخلية ، فإن من الممكن ترتيب الذرات والأيونات بـ ٢٣٠ طريقة أو فى ٢٣٠ مجموعة فراغية Space group .

٢ - تعبئة الذرات والأيونات .

قلنا إن المادة المتبلورة تتميز بترتيب ثابت للايونات أو الذرات فى الأبعاد الثلاثة ، وقد مثلنا الترتيب الفراغى للايونات والذرات بأشكال تخطيطية حيث تكون الروابط (أو الأواصر) bonds بين هذه الأيونات أو الذرات ممثلة بخطوط . شكل (١٦٧) : وهو يمثل البناء الفراغى lattice structure لمعدن الهاليت (NaCl) حيث تمثل الكرات البيضاء أيونات الصوديوم ، وتمثل الكرات السوداء أيونات الكلورين .

وفى مثل هذا الرسم التوضيحى نلاحظ أن المسافات بين الأيونات المتجاورة دائماً أكبر من مجموع نصف أقطار الأيونات المتجاورة . كما نلاحظ أن جميع الأيونات قد رسمت فى هيئة كرات ذات أحجام متساوية . مثل هذا الهيكل الفراغى المفتوح لا يمثل حقيقة الأمور . إن استعمال مثل هذا الرسم يتم فقط لغرض إعطاء صورة المواقع النسبية لمراكز الوحدات المكونة للمادة (أيونات ، ذرات ، الخ) أى أنه يدل على موضع نقط الترتيب الفراغى Space lattice points .

نلاحظ فى شكل (١٦٧) أن الترتيب الفراغى لايونات الصوديوم والكلورين

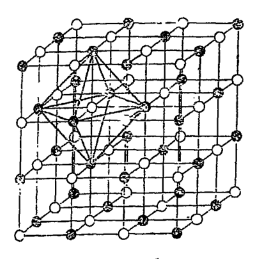


شكل (١٦٧) : البناء الفراغى لمعدن الهاليت
(الكرات البيضاء تمثل الصوديوم ، والكرات السوداء تمثل الكلورين)

فى الهاليت هو من النوع المكعبى . ويحاط كل أيون للصوديوم بستة أيونات للكلورين فى هيئة ثمانى الأوجه ، ويمكن مشاهدة هذا الثمانى الاوجه بوضوح فى شكل (١٦٨) ، حيث أضفنا الروابط المائلة بين أيونات الكلورين السته التى تحيط بأيون الصوديوم . وأصبحت فى مجموعها تشبه شكل ثمانى الاوجه Octahedron . وإذا فحصنا هذا الرسم بعناية أكثر نلاحظ أن كل أيون كلورين محاط بستة أيونات صوديوم .

نلاحظ فى هذين الشكلين السابقين أننا لم نأخذ فى الاعتبار الحجم النسبى لأيونات الصوديوم والكلورين ، وأن الأيونات لابد أن تكون متماسة بعضها ببعض (هذه حقيقة أساسية فى المواد الصلبة أو المتبلورة) . إننا نفترض أن الايونات ذات أشكال كروية أو شبة كروية ، ويمكن تمثيلها كذلك فى الاشكال المبينة لطرق تعبئتها . لنرجع إلى شكل (١٦٨) مرة ثانية ، لنأخذ الكرات السوداء التى تمثل الكلورين ، ولنأخذ الايونات الستة فقط التى توجد عند أركان شكل ثمانى الاوجه ، ونحركها على طول الروابط فى اتجاه بعضها حتى تتماس مع بعضها ، فإننا نصل إلى الترتيب المستقر لهذه الايونات ، كما هو مبين فى شكل (١٦٩) .

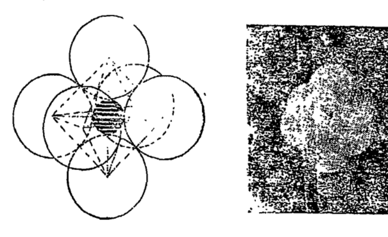
وفى مركز هذا الثمانى الاوجه يوجد « تجويف hole » نصف قطره يساوى ٠,٤١٤ بالنسبة إلى نصف الكرات عند الاركان (الكلورين) ، ويمكن



شكل (١٦٨)

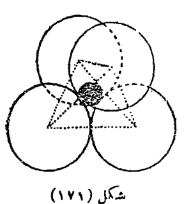
(الكرات البيضاء تمثل الصوديوم ، والكرات السوداء تمثل الكلورين)

لأيون بمثل هذا الحجم أن يجد مكانا له فى هذا التجويف ، ويكون متماسا مع الايونات الستة الكبيرة المحيطة به . كما فى شكل (١٧٠) . ومن الناحية النظرية، لا يمكن للأيون المركزى [أى الذى فى المركز] أن يكون أصغر من أيون له نسبة نصف القطر إلى نصف قطر الايون الاكبر المحيط به كنسبة ٤١٤ر٠، إذ سوف لا يكون مثل هذا الايون الصغير فى حالة تماس مع جيرانه ، ويلزم فى هذه



شكل (١٦٩)　　　　شكل (١٧٠)

الحالة ترتيب آخر أكثر استقرارا . هذا الترتيب موجود حيث يحيط بالايون المركزى الصغير أربعة أيونات فقط موجودة عند الاركان الاربعة لشكل رباعى الاوجه Tetrahedron شكل (١٧١) كما فى البناء الذى للمعادن السليكاتية

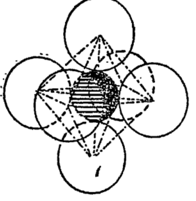

شكل (١٧١)

حيث يحيط بأيون السليكون اربعة أيونات للاكسجين ، والنسبة بين نصف قطر الايون المركزى الصغير (Si) . ونصف قطـــر ايون الاكسجين ٠٫٣٠] .

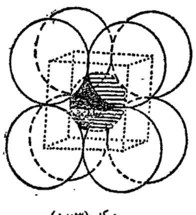
اما إذا كان الايون المركزى اكبر من الايون ذى النسبة ٠٫٤١٤ فإن الأيونات المحيطة سوف تضطر للابتعاد عن بعضها إلى الخارج ولن تتماس إلا مع الأيون المركزى . ويمكن تمثيل هذا الترتيب ، كما فى شكل (١٧٢) . حيث تكون النسبة بين نصف قطر الأيون المركزى ونصف قطر الأيون المحيط به كنسبة ٠٫٦٦ ؛ ويوجد الترتيب الثمانى الأوجه فى هذه الحالة أيضاً ويبقى كترتيب مستقر حتى تساوى نسبة نصفى القطرين ٠٫٧٣٢ (أو أكثر) ،وعند هذه القيمة الحرجة يتكون ترتيب أكثر استقرارا ، لأنه أصبح هناك مكان لأكثر من أيون يتلامس مع بقية الأيونات الخارجية الستة ومع الإيون المركزى . فإذا رتبت ثمانية أيونات كروية فى شكل مكعبى، كما هو مبين فى شكل(١٧٣) فإن نصف قطر التجويف المركزى سوف يساوى ٠٫٧٣٢ . إذا قورن بنصف قطر الكرات الموجودة عند أركان المكعب والتى لها قيمه تساوى ١ . وهذا هو الترتيب المستقر بين نسبه ١ : ٠٫٧٣٢ ونسبه ١:١ .وفى معدن الهاليت (NaCl) نجد أن النسبه بين نصف قطر أيون الصوديوم ونصف قطر أيون الكلورين هى ٠٫٥٦٤ . وتدل هذه القيمة على أن أيونات الكلورين لابد أن تحيط بأيونات الصوديوم فى ترتيب شكل ثمانى الأوجه . ولقد أثبتت الأدلة التجريبية صدق هذا الرأى .

عدد التناسق Coordination number

عدد التناسق لأيون أو ذرة عنصر هو الرقم الدال على عدد الأيونات أو الذرات التى تحيط وتلامس هذا الأيون أو هذه الذرة بصفه مميزة . فمثلا فى شكل (١٧١) حيث يحيط بأيون السليكون [الكرة السوداء أو المركزية] ويتلامس معها أربعة أيونات للاكسجين [الكرات البيضاء الكبيرة] يكون عدد تناسق



شكل (١٧٢)



شكل (١٧٣)

السليكون هو ٤ ، والنسبه بين نصفى قطرالين هى ٣٠ر٠٠ وقد يكون للعنصر أكثر من عدد تناسق واحد . فمثلا،قد تحاط ذرة مغنسيوم بستة ذرات أكسجين بصفة مميزة عندما يتحد الإثنان سويا لتكوين أكسيد المغنسيوم . وفى هذه الحالة يكون عدد التناسق للمغنسيوم ٦ ، والنسبة بين نصفى القطرين فى هذا المركب هى ٤٧ر٠ أما فى مركب تلوريد المغنسيوم (MgTe) ، فالنسبة تساوى ٣١ر٠، ويكون للمغنسيوم عدد تناسق يساوى ٤، ويحاط بأربعة ذرات تلوريوم فى ترتيب رباعى الاوجه . ولما كان الاكسجين مكونا عاما فى تركيب كثير من المعادن ، فعندما نذكر عدد التناسق لعنصر ما بدون تمييز فإننا نقصد عدد ذرات الاكسجين التى تتناسق مع ذرات العنصر المذكور . وعندما يكون عدد التناسق يساوى ٨ فإن ثمانى ذرات أو أيونات تحيط بذرة أو أيون العنصر المركزى فى شكل مكعبى ، شكل (١٧٣) .

وعلى ذلك نجد أن عدد التناسق يتوقف على النسبة بين نصف قطر الأيون المركزى ونصف قطر الايون المتناسق حوله ، كما يتبين من الجدول التالى ، جدول (٢١) ، صفحة ١٦٨ .

٣ — الروابط الكيميائية Chemical bonds

تتوقف كثير من خواص المعدن ومميزاته على نوع وشدة القوى الكهربائية التى تربط ذرات المادة بعضها إلى بعض . فإذا نحن درسنا وأوضحنا هذه القوى الرابطة أمكننا تفسير كثير من الخواص الفيزيائية والكيميائية التى تسبب لنا شيئاً من الحيرة. فمثلا، لماذا تنفصم الميكا بهذه السهولة إلى تلك الصفائح الرقيقة؟

عدد التناسق	ترتيب الأنيونات حول الكاتيونات	النسبة بين نصف قطر الكاتيون : الأنيون
٣	أركان مثلث متساوى الأضلاع	من ١٥ر٠ إلى ٢٢ر٠
٤	أركان رباعى الأوجه	من ٢٢ر٠ إلى ٤١ر٠
٦	أركان ثمانى الأوجه	من ٤١ر٠ إلى ٧٣ر٠
٨	أركان المكعب	> ٧٣ر٠

جدول (٢١) : النسبة بين نصف قطر الكاتيون إلى الأنيون وعدد التناسق .

والجواب على ذلك يقتضى معرفة نوع الروابط الكهربائية التى تربط الذرات بعضها ببعض. وتدلنا هذه المعرفة على أن الروابط الكهربائية (روابط كيميائية) تتغير فى قوتها بتغير الإتجاه فى البلورة .

ونجد أن الايونات مرتبطة ببعضها إرتباطا قويا فى الصفائح فى اتجاه مواز للانفصام ، أما القوى التى تربط صفحة بجارتها (عليا أو سفلى) فإنها قوى ضعيفة لاتصمد أمام أى ضغط ، وتنفصم الصفائح عن بعضها فى هذه المستويات ذات الروابط الضعيفة، شكل (١٧٥) صفحة ١٧١ . وقد أثبتت الدراسات البلورية بالاشعة السينية هذا الرأى . ويفسر الانفصام بصفة عامة على أنه انفصال يحدث فى بناء البلورة فى المستويات ذات الروابط الكيميائية الضعيفة .

وقد وجد ، عموما ، أنه كلما كانت الرابطـــة قوية كلما زادت صلادة البلورة ، وكذلك درجة إنصهارها ، بينما يقل معامل تمددها الحرارى . وعلى ذلك تعزى صلادة الألماس العالية إلى الروابط الكهربائيه القوية جداً بين ذرات الكربون فى بنائه الذرى .

كذلك وجـــد أنه بالرغم من تشابه البناء الذرى فى كل من معدنى بيريكليز Periclase (MgO) وهاليت Halite (NaCl) ، إلا أن البيريكليز ينصهر عند درجة ٢٨٠٠°م ، بينما ينصهر الهاليت عند ٧٠١° م، أو بعبارة أخرى يحتاج البيريكليز إلى طاقة حرارية أكبر لفصل ذراته ، وهذا يدل على وجود روابط كهربائية أقوى فى البيريكليز منها فى الهاليت .

وهناك أربعة أنواع رئيسية من الروابط الكيميائية هى : الايونية ، المشتركة ،

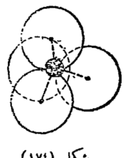
الفاوية ، فان درفال . ويجب أن يكون مفهوما أن مثل هذا التصنيف هو لتوضيح وتقريب الأمور ، بينما فى الحقيقة قـــد يوجد تدرج وانتقال بين هذه الأنواع ، كما قد يشترك أكثر من نوع فى البناء الواحد .

١ — **الرابطة الأيونية** Ionic bond : وهذه هى الرابطة التى تربط بين الأيونات ذات الشحنات الكهربائية المختلفة فى البلورة ، ولذلك تعرف هذه الرابطة أيضاً باسم الرابطة الكهروستاتيكية Electrovalent bond . ومن أمثلتها الرابطة التى تربط أيون الكلورين بأيون الصوديوم فى بلورة كلوريد الصوديوم . مثل هذه المركبات ، التى يغلب فى بنائها الذرى الرابطة الأيونية ، عندما تذوب فى مذيبات مثل الماء تكسب هذه المذيبات خاصية المحاليل الموصلة التى تحتوى على أيونات حرة . أما من ناحية الخواص الفيزيائية فنجد أن البلورات ذات الرابطة الأيونية لها صلادة متوسطة ، وكذلك وزنها النوعى متوسط ، أما عن درجتى الإنصهار والغليان فهما عاليتين ، كما أن هذه البلورات موصلة رديئة جداً للكهرباء والحرارة .

٢ — **الرابطة المشتركة** Covalent bond : أو رابطة الاليكترونات المشتركة Electron — sharing bond وهذه أقوى أنواع الروابط . وتتميز المعادن ذات الرابطة المشتركة بأنها غير قابلة للذوبان بصفة عامة ، وبأنها مستقرة stable وذات درجة إنصهار ودرجة غليان عاليتان جداً . ولا تعطى هذه المعادن أية أيونات فى المحاليل التى تكونها . وعلى ذلك فهى مواد رديئة التوصيل للكهرباء فى كلتا الحالتين السائلة والصلبة . وهذه الرابطة تتكون نتيجة لاشتراك إليكترون بين ذرتين . فإذا وجد فراغ فى المسار الاليكترونى الخارجى للذرة فإن كل طاقة الذرة تستنفد فى هذه الرابطه التى تربط ذرة بجارتها ، ويتكون عندنا جزىء مستقر (مثل جزىء الكلورين) الذى لايظهر أى ميل للاتحاد بجزىء آخر . وهناك عناصر أخرى مثل الكربون والسليكون والألومنيوم لها أكثر من فراغ فى المسار الاليكترونى الخارجى لذراتها ، ولذلك فإن ذرة العنصر منها تتحد بعدد من الذرات المجاورة بواسطة الرابطة المشتركة لتنتج مجموعات ذرات مستقرة ذات أشكال وأبعاد ثابتة . ومن أمثلة ذلك ذرات السليكون التى لها أربعة فراغات فى مساراتها الخارجية تملؤها بالكترونات مشتركة مع أربعة

ذرات أكسجين ، وتكون بذلك مجموعة SiO_4 مرتبطة بروابط مشتركة قوية فى هيئة رباعى الأوجه Tetrahedron حيث توجد ذرات الأكسجين الاربعة عند أركان هذا الشكل الرباعى ، شكل (١٧١) ، (١٧٤) .

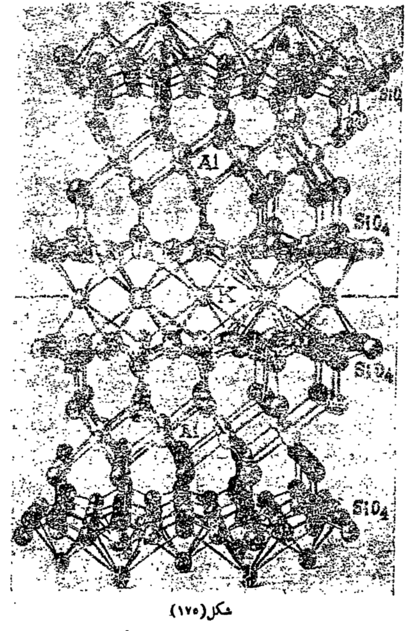
وقد ترتبط مجموعتان أو أكثر من هذه المجموعات الرباعية SiO_4 لينتج عنها أشكال هندسية مختلفة هى أساس الوحدات (منفردة ، حلقية ، سلسلية ، صفائحية ، هيكلية) فى البناء الذرى للأنواع المختلفة من المعادن السليكاتية .


شكل (١٧٤)

٣ — الرابطة الفلزية Metallic bond وهذه هى الرابطة التى تربط ذرات الفلزات ، وفيها تحاط نواة ذرة الفلز بسحابة من الاليكترونات الحرة الانتقال فى البناء الذرى للفلز دون أن تسبب إخلالا لميكانيكية الروابط . ويعزى إلى هذه الرابطة جميع الخواص المميزة للفلزات مثل القابلية للطرق والسحب وسهولة التشكيل ، والتوصيل الجيد للكهرباء والحرارة ، وإنخفاض كل من الصلادة ودرجة الانصهار ودرجة الغليان .

٤ — رابطة فان درفال Van der Waal force وهذه عبارة عن القوى الضعيفة التى تربط الجزيئات المتعادلة بعضها ببعض ، وهى عبارة عن قوى متبقية على سطح هذه الجزيئات أو المجموعات البنائية غير المشحونة فى البلورة .

وغالباً ما تضم البلورات المعدنية أكثر من نوع واحد من الروابط الكيميائية . مثلا ، فى الجرافيت ترتبط الذرات ببعضها فى الصفائح بواسطة الرابطة المشتركة القوية ، بينما يحدث الانفصام فى المستويات التى ترتبط برابطة فان درفال الضعيفة . أما فى الميكا فترتبط الذرات فى الصفائح بواسطة الرابطة المشتركة القوية حيث توجد مجموعات السليكات الرباعية ، وترتبط الصفائح بعضها ببعض بواسطة الرابطة الايونية الضعيفة عن طريق أيونات البوتاسيوم ، وينتج عن مثل هذا البناء الذرى ذى الروابط المختلفة أن ينفصم معدن الميكا بسهولة جداً فى المستويات ذات الرابطة الايونية الضعيفة ، شكل (١٧٥) . ويعزى الانفصام فى معادن الأوجيت



شكل (١٧٥)

نموذج البناء الذرى فى معادن الميكا

والهورنبلند والارثوكليز إلى وجود مثل هذه الروابط الضعيفة . وتعرف هذه البلورات التى يوجد بها روابط من أنواع مختلفة بإسم غير متجانسة الروابط Heterodesmic بينما تعرف بلورات معادن الكوارتز والالماس حيث توجد روابط من نوع واحد باسم متجانسة الروابط Homodesmic .

التشابه الشكلى Isomorphism

تتبلور المعادن فى الطبيعة من محاليل معقدة التركيب الكيميائى ، ويحدث نتيجة لذلك أن كل المعادن تقريباً تختلف فى تركيبها الكيميائى من مكان إلى آخر بل ويختلف المعدن الواحد فى تركيبه الكيميائى من عينة إلى أخرى فى نفس المكان الواحد . وقبل أن نعرف السر وراء هذا التغير الكيميائى — فى ضوء الكيمياء البلورية — كانت كل عينة تسمى فى الماضى بأسم خاص ، وتعتبر معدنا جديدا بسبب هذا الأختلاف الطفيف فى التركيب الكيميائى ، مع أن بقية الخواص الأخرى واحدة فى جميع العينات .

وفى الوقت الحالى نجد أن من أهم واجبات جيولوجى المعادن العمل على تقليل وإزالة هذه الاسماء الكثيرة للانواع المختلفة من المعدن الواحد . ونتيجة لذلك يتضح لنا أن الوحـــدة الوصفية فى دراسات المعادن هى المتسلسلة المعدنية mineral series أو المجموعة المعدنية mineral group بدلا من المركب النقى .

سبق أن ذكرنا عند دراستنا للبلورات أن لكل مادة شكل بلورى مميز ، وتختلف بلورات المواد المختلفة (عدا بلورات فصيلة المكعب) عن بعضها البعض فى الزوايا بين الوجهية ، ولكن لاحظ ميتشرليخ Mitscherlich عام ١٨١٩ أن هناك علاقة بين الشكل البلورى لمادة ما وتركيبها الكيميائى ، وأنه قد توجد مادتان لهما تركيبان كيميائيان متقابلان وشكلان بلوريان متماثلان تقريباً . مثل هذا العلاقة بين المواد المختلفة فى التركيب الكيميائى والمتشابهة فى الشكل البلورى تعرف بأسم التشابه الشكلى Isomorphism ، والمواد المرتبطة بهذه العلاقة تعرف بإسم مواد متشابهة الأشكال Isomorphous substances .

ومثل هـــذه المواد المتشابهة الأشكال تتشابه بشكل ملحوظ فى خواصها الفيزيائية والكيميائية وكذلك البلورية (لها تقريباً نفس الزوايا بين الوجهية ونفس النسبة المحورية) ويحتاج الأمر إلى قياس الزوايا بين الوجهية بدقة كبيرة للتفريق بين بلورات المعادن المتشابهة الأشكال . كذلك يستخدم حيود الأشعة السينية فى استكشاف وتوضيح هذه العلاقة البلورية الكيميائية بدراسة تفاصيل

خواص الوحدة البنائية فى المعادن التى تربطها هذه العلاقة . أيضاً يفيد التحليل الطيفى بالاشعة تحت الحمراء [صفحة ١٥٨] فى دراسة هذه العلاقة . والمثال التالى ، جدول (٢٢) يوضح لنا التشابه فى الخواص البلورية والوزن النوعى لمعادن الكربونات المتشابهة الاشكال ، (تابعة لفصيلة المعينى القائم) .

معادن كربونات معينية قائمة	الوزن الجزيئى	الوزن النوعى	الزوايا ٠١١ ∧ ٠١̄١	الزوايا ١١٠ ∧ ١̄١٠	النسبة المحورية أ : ب : حـ
أراجونيت $CaCO_3$	١٠٠,١	٢,٩	٦٣° ٤٨َ	٧١° ٣٢َ	٠,٦٢٢ : ١ : ٠,٧٢١
سترونشيانيت $SrCO_3$	١٤٧,٦	٣,٧	٦٢ ٤١	٧١ ٤٨	٠,٦٠٩ : ١ : ٠,٧٢٤
ويذريت $BaCO_3$	١٩٧,٤	٤,٣	٦٢ ١٢	٧٢ ١٦	٠,٥٩٥ : ١ : ٠,٧٤٠

جدول (٢٢) : خواص بعض المعادن المتشابهة الأشكال

وتتشابه المواد المتشابهة الأشكال فى بنائها الذرى (متشابهة البناء - Iso structural) كما أن مثل هذه المواد قادرة على أن تتبلور مع بعضها ، أى تتداخل بلوراتها intercrystallize . فإذا حللنا بلورة سترونشيانيت فغالبا ما نجد فيها كمية لابأس بها من الكالسيوم وكذلك الباريوم ، حيث حلت هذه العناصر محل جزء من الاسترونشيوم ، ويعرف هذا بأسم إحلال (أو استبدال) التشابه الشكلى Isomorphous replacement or substitution ، ولا يتم الأحلال بين عنصر وآخر إلا إذا تقاربا فى حجمهما ، أى لهما نصفى قطر ذرى أو أيونى متساويان تقريباً ، ويجب ألا يزيد الفرق بين نصفى القطرين عن ١٥ فى المائة . ويبين جدول (٢٣) نصف قطر أيونات بعض العناصر الشائعة فى التركيب الكيميائى للمعادن .

ويجب أن تكون المادة الناتجة من الإحلال متعادلة كهربائيا . فإذا حل أيون عنصر أحادى التكافؤ (صوديوم ٩٧ر٠ أنجستروم) محل أيون عنصر

١ +	٢ +	٣ +	٤ +	٥ +	٦ +
Li ٠٫٦٨	Be ٠٫٣٥	B ٠٫٢٣	C ٠٫١٦		
Na ٠٫٩٧	Mg ٠٫٦٦	Al ٠٫٥١	Si ٠٫٤٢		
K ١٫٣٣	Ca ٠٫٩٩	Sc ٠٫٨١	Ti ٠٫٦٨	V ٠٫٥٩	Cr ٠٫٥٢
Rb ١٫٤٧	Sr ١٫١٢	Y ٠٫٩٢	Zr ٠٫٧٩	Nb ٠٫٦٩	Mo ٠٫٦٢
Cs ١٫٦٧	Ba ١٫٣٤	La ١٫١٤	Hf ٠٫٧٨	Ta ٠٫٦٨	W ٠٫٦٢
Cu ٠٫٩٦	Fe ٠٫٧٤	Fe ٠٫٦٤	Ge ٠٫٥٣	P ٠٫٣٥	S ٠٫٣٠
Ag ١٫٢٦	Zn ٠٫٧٤	Cr ٠٫٦٣	Sn ٠٫٧١	As ٠٫٤٦	Se ٠٫٤٢
Au ١٫٣٧	Ni ٠٫٦٩	Co ٠٫٦٣	Pb ٠٫٨٤	Sb ٠٫٦٢	Te ٠٫٥٦
	Co ٠٫٧٢		Mn ٠٫٦٠		
١ —	١ —	١ —	٢ —	٢ —	
Cl ١٫٨١	F ١٫٣٦	(OH) ١٫٤٠	O ١٫٤٠	S ١٫٨٤	

جدول (٢٣) : نصف قطر أيونات بعض العناصر الشائعة

ثنائى التكافؤ (كالسيوم ٠٫٩٩ أنجستروم) فلابد أن يحدث إحلال آخر فى نفس الوقت بين عنصرين آخرين (ألومنيوم ثلاثى التكافؤ محل سليكون رباعى التكافؤ) حتى ينتج التعادل الكهربائى للمادة الناتجة :

$$Na^1 + Si^4 = Ca^2 + Al^3$$
$$NaAlSi_3O_8 \qquad CaAl_2Si_2O_8$$

والاحلال الذى يحدث بين العناصر المختلفة قد يكون جزئياً أو كاملا . ومن أمثلة الاحلال الجزئى إحلال الحديد محل الزنك فى معدن سفاليريت Sphalerite (كبريتيد الزنك) حيث لا يسمح بناء المعدن بأكثر من ١٨ فى المائة من الحديد لتحل محل الزنك ، ويتدرج لون المعدن من عديم اللون إلى بنى إلى أسود بازدياد نسبة الحديد من صفر إلى ١٨ فى المائة ، كما يتضح من جدول (٢٤) .

	سفاليريت		
	عديم اللون	بنى	أسود
S	٣٢٫٩٣	٣٣٫٣٦	٣٣٫٢٥
Zn	٦٦٫٦٩	٦٣٫٣٦	٥٠٫٠٢
Fe	٠٫٤٢	٣٫٦٠	١٥٫٤٤
Cd	..	..	٠٫٣٠
Pb	..	..	١٫٠١
	١٠٠٫٠٤	١٠٠٫٣٢	١٠٠٫٠٢

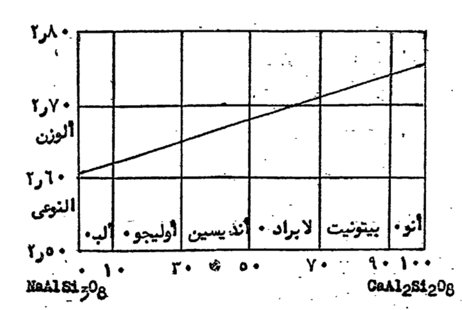
جدول (٢٤): التركيب الكيميائى لبعض عينات سفاليريت

أما مجموعة معادن الفلسبار البلاجيوكلازية (فصيلة الميول الثلاثة) فإنها تمثل بوضوح الاحلال الكامل بين طرفى المجموعة : الألبيت ($NaAlSi_3O_8$) والانورثيت ($CaAl_2Si_2O_8$) فيحل الصوديوم والسليكون إحلالا كاملا محل الكالسيوم والالومنيوم لتنتج مركبات متوسطة بين الاثنين (تحتوى على الصوديوم والكالسيوم والالومنيوم والسليكون) ، جدول (٢٥) ، ولها خواص متدرجة

بين خواص الطرفين فمثلا، يتدرج الوزن النوعى من ٢٫٦١ للالبيت إلى ٢٫٧٥ للانورثيت ، شكل (١٧٦) .

المعـــدن	النسبة المئويه للالبيت (أب)	النسبة المئوية للانورثيت (أن)
البيت	١٠٠ — ٩٠	٠ — ١٠
اوليجوكليز	٩٠ — ٧٠	١٠ — ٣٠
أنديسين	٧٠ — ٥٠	٣٠ — ٥٠
لابرادوريت	٥٠ — ٣٠	٥٠ — ٧٠
بايتونيت	٣٠ — ١٠	٧٠ — ٩٠
أنورثيت	١٠ — ٠	٩٠ — ١٠٠

جدول (٣٥) : التركيب الكيميائى لمعادن البلاجيوكليز



شكل (١٧٦) : تدرج الوزن النوعى بين الالبيت (الب) . والانورثيت (أنو)

ومن الامثلة الاخرى للاحلال الكامل معادن الاوليفين (فصيله المعينى القائم) حيث يتشابه الطرفان النهائيان فورستريت Forsterite Mg_2SiO_4 وفياليت Fe_2SiO_4 Fayalite فى خواصهما المختلفة ، وتتداخل باوراتهما معا ،

ويحل الحديد محل المغنسيوم بكل حرية وبأية نسبة فى بنائهما الذرى المتشابه، وتنتج متسلسلة الاوليفين $(Mg,Fe)_2SiO_4$ Olivine series . ومما سبق يتضح لنا أن خاصية التشابه الشكلى تدل على أن الخواص المختلفة للمعادن تختلف بصفة عامة باختلاف التركيب الكيميائى. وتعتبر خاصية التشابه الشكلى من أهم القواعد الاساسية فى كيمياء المعادن إذ يندر أن توجد المعادن فى حالة نقية .

التعدد الشكلى Polymorphism

تصف هذه الظاهرة وجود أكثر من مادة لها نفس التركيب الكيميائى ولكنها تختلف فى بنائها الذرى وشكلها البلورى . مثال ذلك ، الالماس والجرافيت معدنان لهما نفس التركيب الكيميائى (كربون) ولا يمكن التفرقة بينهما بأى وسيلة كيميائية . ولكنهما يختلفان عن بعضهما البعض فى الخواص الفيزيائية مثل الصلادة ، والوزن النوعى ، الخ .

مثال آخر : كربونات الكالسيوم يمكن أن تتبلور تحت ظروف خاصة لتعطى بلورة معينية الاوجه Rhombohedral . هى معدن الكالسيت. وتحت ظروف أخرى تعطى بلورة معينية قائمة Orthorhombic هى معدن الاراجونيت ، وكلا المعدنين له خواص فيزيائية مختلفة عن خواص الآخر. ويمثل جدول (٢٦) أمثلة لبعض المواد الكيميائية ذات الاشكال المتعددة وبعض خواصها .

ويطلق على المواد التى توجد فى شكلين بلوريين مختلفين أسم ثنائية التشكل Dimorphous ، مثل الكربون، وكبريتيد الحديد، وكربونات الكالسيوم. أما إذا وجدت المادة فى ثلاثة أشكال فإنها تعرف باسم ثلاثية التشكل Trimorphous مثل ثانى أكسيد السليكون .

ويجب ملاحظة أن الاشكال المختلفة للمادة الكيميائية الواحدة لاتتكون كلها فى ظروف واحدة ، بل على العكس تتكون فى ظروف مختلفة من الضغط

التركيب الكيميائي	المعدن	الفصيلة البلورية	الوزن النوعي	الصلادة
C	الماس	المكعب	٣ر٥	١٠
	جرافيت	السداسي	٢ر٢	١
FeS_2	بيريت	المكعب	٥ر٠	٦
	مركزيت	المعيني القائم	٤ر٨٥	٦
TiO_2	روتيل	الرباعي	٤ر٢٣	٦ - ٦ر٥
	أناتيز	الرباعي	٣ر٩٠	٥ر٥ - ٦
	بروكيت	المعيني القائم	٤ر١٤	٥ر٥ - ٦
$CaCO_3$	كالسيت	الثلاثي	٢ر٧١	٣
	أراجونيت	المعيني القائم	٢ر٩٥	٣ر٥
SiO_2	كوارتز	الثلاثي	٢ر٦٥	٧
	تريديميت	المعيني القائم	٢ر٢٦	٧
	كريستوباليت	الرباعي	٢ر٣٠	٧
$KAlSi_3O_8$	سانيدين	الميل الواحد	٢ر٥٧	٦
	أرثوكليز	الميل الواحد	٢ر٥-٢ر٦	٦
	ميكروكلين	الميول الثلاثة	٢ر٥٤-٢ر٥٧	٦
	أديولاريا	الميل الواحد	٢ر٥٦٥	٦

جدول (٢٦) مقارنة بين خواص بعض المواد متعددة الأشكال

والحرارة والبيئة الكيميائية (درجة التركيز ، درجة الحموضة، درجة القلوية)، كما في الامثلة التالية : ـ

يتكون الالماس في ظروف من الحرارة والضغط العاليين جداً ،أما الجرافيت فيتكون تحت الضغط الديناميكي . ويتكون الكوارتز في درجة حرارة أقل من ٨٧٠°م ، أما التريديميت فيتكون بين درجتي الحرارة ٨٧٠°م ، ١٤٧٠°م. في حين يتكون الكريستوباليت في درجة حرارة أعلى من ١٤٧٠° م . ويتكون معدن البيريت من المحاليل القلوية والمتعادلة عند درجات حرارة متوسطة وعالية تحت الضغط ، أما المركزيت فيتكون من محاليل حمضية تحت درجة حرارة ٤٥٠°م .

الخداع الشكلى Pseudomorphism

إذا حدث تعديل للبلورة بحيث يتغير بناؤها الذرى الداخلى دون أن يطرأ أى تغيير على الشكل الخارجى (أى تحتفظ البلورة بشكلها الخارجى) فانها توصف فى هذه الحالة باسم شكل خادع أو شكل كاذب Pseudomorph (false form). وفى البلورة الخادعة الشكل يتبع التركيب الكيميائى والبناء الذرى معدنا واحدا بينما يتبع شكلها الخارجى معدنا آخر، مثال ذلك : قد يتغير معدن البيريت (FeS_2) ليعطى معدن الجوتيت ($H\ Fe\ O_2$) الذى لايزال يحتفظ بالشكل المكعبى الخارجى المميز للبيريت ، وتعرف مثل هذه البلورة بأنها شكل كاذب لمعدن الجوتيت الناتج من البيريت . وتتكون الأشكال الكاذبة فى الطبيعة نتيجة لإحدى العمليات التالية : ـ

١ ـ دون حدوث تغير فى التركيب الكيميائى (التغير الشكلى Paramorphism)

يطلق إسم الشكل المغاير Paramorph على البلورة التى تغير بناؤها الذرى دون أن يحدث ذلك أى تغيير للشكل الخارجى لها أو بمعنى آخر ، إنها عبارة عن البلورة التى تغير بناؤها الذرى دون أن يتغير تركيبها الكيميائى . مثال ذلك ، معدن الكالسيت الناتج من معدن الأراجونيت ، كلاهما عبارة عن كربونات الكالسيوم ، ولكن الكالسيت الناتج (بناؤه الذرى الداخلى يتبع فصيلة الثلاثى ، وقد نتج عن تعديل نظام ذرات الأراجونيت المعينى القائم) لايزال يحتفظ بالشكل المعينى القائم الخارجى الخاص بمعدن الأراجونيت (أى يبدو من الخارج كأنه أراجونيت « شكل كاذب ») ولكن جميع خواصه الفيزيائية (وهذه تتوقف على البناء الذرى الداخلى الذى أصبح فى هذه الحالة كالسيت) تكشف أن المعدن أصبح كالسيت وليس أراجونيت ، وأن الشكل الخارجى الظاهر للعين ماهو إلا شكل خادع .

٢ ـ حدوث تغير فى التركيب الكيميائى :

(ا) الإحلال أو الاستبدال Replacement or Substitution :
ينتج الشكل الكاذب فى هذه الحالة بإزالة مادة البلورة الأصلية وإحلال مادة

جديدة محلها وترسيبها فى نفس الوقت دون أن يحدث أى تفاعل كيميائى بين المادة المزالة والمادة المترسبة .

مثال : كوراتز (SiO_2) يحل محل فلوريت (CaF_2)

كوارتز (SiO_2) يحل محل كالسيت ($CaCO_3$)

(ب) انحلال Alteration : ينتج الشكل الكاذب فى هذه الحالة إذا تغير التركيب الكيميائى للبلورة الأصلية سواء أتم ذلك بإضافة مادة جديدة إليها أم بأزالة جزء من مادتها الأصلية أو بالاثنين معاً (الإضافة والإزالة) دون أن يحدث أى تغير للشكل البلورى الخارجى للبلورة الأصلية .

مثال ، إزالة بعض المواد :

هماتيت (Fe_2O_3) يتكون من ماجنيت [Fe_3O_4] ... إزالة الحديد .

مثال ، إضافة بعض المواد :

جبس [$CaSO_4 2H_2O$] يتكون من أنهيدريت [$CaSO_4$] ... إضافة الماء .

مثال ، إزالة وإضافة بعض المواد :

جوتيت [$HFeO_2$] يتكون من بيريت [FeS_2] ... إزالة الكبريت وإضافة الماء .

٣ - أشكال كاذبة قشرية Incrustation pseudomorph (أو قوالب Casts) : وتحدث هذه الأشكال عندما يترسب معدن على سطح بلورة معدن آخر فى هيئة قشرة تغلف البلورة بأكملها ، وفى هذه الحالة يعرف الشكل الكاذب بأنه قالب خارجى external cast ، مثل الكوارتز (SiO_2) الذى يحيط بمكعب الفلوريت (CaF_2) ويأخذ شكله الخارجى . وقد يحدث فى بعض الأحيان أن يترسب المعدن فى الفراغات الناتجة عن إذابة بعض البلورات السابقة ويملؤها ويأخذ شكلها ، وفى هذه الحالة يعرف الشكل الكاذب الناتج باسم قالب داخلى internal cast ، ومن أمثلتها بعض الفراغات الموجودة فى بعض أنواع الصخور والمملوءة بمعادن الزيوليت Zeolites والنحاس .

المعادن غير المتبلورة Noncrystalline Minerals

جاء فى تعريف المعدن أنه مادة صلبة متبلورة . ولكن يوجد عدد قليل من المعادن غير متبلورة . ويمكن التمييز بين نوعين من المعادن غير المتبلورة : النوع الأول ، ويطلق عليه اسم المعادن ذات البناء المنهار أو المعادن المحطمة metamict وهى معادن كانت فى الأصل متبلورة ثم تحطم بناؤها الذرى فيما بعد . والنوع الثانى يطلق عليه اسم المعادن عديمة الشكل amorphous . وهى معادن نمت وتكونت أصلا بدون بناء ذرى ، إما نتيجة لسرعة التبريد من حالة منصهرة ، أو نتيجة للتجمد البطىء لمادة هلامية gelatinous .

فأما المعادن المحطمة فإنها ذات خواص فيزيائية تدل على أنها عديمة التبلور . ومن بين هذه الخواص أنها ذات مظهر زجاجى أو غروى مثل القار pitchy وليس لها انفصام ، ومكسرها محارى . إن مثل هذه المعادن المحطمة تستعيد بناءها الذرى وتبلورها بالتسخين مع إنبعاث حرارة كثيرة وتوهج فى مادة المعدن ، وينتج عن إستعادة التبلور إزدياد فى الوزن النوعى للمعدن . ويعزى تكوين الحالة المحطمة فى المعادن إلى إنهيار البناء الذرى من خلال الاصطدام بجسيمات « ألفا » المنطلقة من عناصر النشاط الاشعاعى المفتتة . وعموما تكوين المعادن المحطمة مكونة من أحماض ضعيفة وقواعد ضعيفة ، مثل الزرقون Zircon ، والثوريت $ThSiO_4$. أما وجود عناصر النشاط الاشعاعى فى المعدن فلا يعتبر سبباً كافياً بمفرده لاحداث حالة التحطم فى بناء المعدن ، فمعدن ثوريانيت ThO_2 لايبدو أبداً فى حالة محطمة رغم احتوائه على الثوريوم . وبعض المعادن مثل ألالانيت Allanite يتواجد فى كل من الحالة المحطمة والحالة غير المحطمة . وقد تبين حديثاً أن كثيراً من المواد المتبلورة يمكن جعلها فى حالة محطمة وذلك بتعريضها للاصطدام بجسيمات « ألفا » ، أو للنيوترونات المنطلقة من مفاعل يورانيوم .

أما المعادن عديمة الشكل amorphous فتضم الزجاج والهلام . والزجاج يتكون من صهير melt برد بسرعة ، أما الهلام فإنه يتكون نتيجة

لتجمد المحاليل الغروية . والمحاليل الغرويه تمثل حالة متوسطة بين المحاليل الحقيقية والمعلقات (المخاليط المعلقة) Suspensions ، وعادة تكون المركبات العضوية ذات الجزيئات الكبيرة محاليل غروية ، بينما المركبات غير العضوية والتى لاتذوب عادة فى الماء قد تكون محاليل غروية ، ويتراوح قطر الجسيمات فى المحلول الغروى عادة بين واحد من ألف وواحد من مليون من المليليمتر . ومن أمثلة المعادن التى من هذا النوع الأوبال Opal ،وهو يتكون نتيجة لتجمد المحاليل الغروية للسليكا ، والأوبال أكسيد مائى للسليكا حيث كمية الماء فيه متغيرة ، ويكتب قانونه الكيميائى هكذا $SiO_2 \cdot nH_2O$ ، وتتراوح كميه الماء عادة بين ٣ ، ١٠ بالمائة بالوزن . وهناك مواد أخرى توجد فى الحالة الغرويه وتتكون فى الطبيعة مثل بعض أكاسيد الألومنيوم والحديد والمنجنيز المتميئة . وعندما يتجمد الهلام فإنه عادة يتبلور فى فترة زمنية وجيزة . ويمكن التعرف على المعادن التى تجمدت أصلا فى حالة هلامية إذ يكون لها عادة أسطح كروية مثل عنقود العنب « عنقودية botryoidal » وهيئة داخلية ابرية شعاعية من المركز وعمودية على السطح الكروى .

البـــاب السادس

تصنيف المعادن

Classification of Minerals

أمكن التعرف ـ حتى الآن ـ على مايقرب من ألفى (٢٠٠٠) معدن فى قشرة الأرض ، الكثير منها نادر أو قليل الوجود ، والقليل منها ـ مايقرب من المائتين ـ شائع الوجود ، وهـــذه توجد إما مكونة للصخور (النارية والرسوبية والمتحولة)، أو مكونة لنوع آخر من الصخور يعرف بإسم الخامات المعدنية وهى رواسب فيها نفع للناس وتمكث فى بقع متفرقة من كوكب الأرض ، حتى يكتشفها الانسان ويستغلها فى الصناعة .

وتشترك هذه المعادن الألفين جميعاً فى أن تعريف المعدن ينطبق عليها كلها أو بشىء من الدقة غالبيتها (إذ أن القليل منها غير متبلور ، وحتى هذه القلة تمثل حالة غير مستقرة تمضى فى طريقها إلى التبلور والاستقرار بمضى الزمن الطويل وتغير الظروف) ـ ذلك التعريف الذى ينص على أن لكل معدن بناءاً ذريا منتظما وتركيبا كيميائيا مميزا . وانطلاقا من هاتين الصفتين الاساسيتين نجد أن مجموعة من المعادن تتشابه فى خواصها البلورية ، فنتخذ من البناء البلورى أساسا لتصنيفها إلى فصائل بلورية سبعة يشترك أفراد كل فصيلة فى الصفات الإساسية (المحاور البلورية) ، ثم نصنفها إلى نظم بلورية اثنتين وثلاثين حينما نجد أن بلورات الفصيلة الواحدة تختلف فيما بينها فى التفاصيل (عناصر التماثل الخارجية) ثم نصنف كل نظام إلى عدد من الأقسام (مائتين وثلاثين مجموعة فراغية) حينما نجـــد أن بلورات كل نظام تختلف فيما بينها فى تفاصيل التفاصيل (عناصر التماثل الداخلية) . هكذا تصنف المعادن على أساس البناء الذرى المنتظم .

وقد تتخذ من الخواص الفيزيائية أساسا لتصنيف المعادن . فنجد أن هناك قسما يضم المعادن التى تتشابه فى خواصها البصرية — ينكسر الضوء أثناء مروره بها انكساراً منفرداً وينتقل بسرعة واحدة فى جميع الإتجاهات ـ تعرف بإسم المعادن الايزوتروبية (Isotropic minerals) بينما تنضوى مجموعة أخرى من المعادن تحت قسم آخر لأنها تختلف عن معادن القسم الأول فى هذه الخاصية البصرية الأساسية — ينكسر الضوء أثناء مروره بها انكسارا مزدوجا وينتقل بسرعات مختلفة فى الإتجاهات المختلفة ـ تعرف بإسم المعادن غير الايزوتروبية (Anisotropic minerals) .

أما إذا اخترنا خاصية الصلادة ، وهى خاصية فيزيائية أيضاً ، فإننا نجد أن المعادن يمكن تصنيفها إلى منخفضة الصلادة ومتوسطة الصلادة وعالية الصلادة . أو تصنف تبعاً لمقياس موهس Mohs scale للصلادة ذى الأقسام العشرة ليأخذ كل معدن رقما بين الواحد والعشرة يدل على صلادته النسبية [أنظر جدول رقم « ١ » بالجزء الثالث من هذا الكتاب] .

وكذلك إذا أخذنا خاصية فيزيائية أخرى مثل الكثافة (أو الوزن النوعى) فإننا نجد أن هناك معادن « خفيفة » (من ١ — ٢ر٥) ، ومعادن « متوسطة الكثافة » (من ٢ر٥ ـ ٣ر٥) ، ومعادن «ثقيلة» (من ٣ر٥ ـ ٥) . ومعادن « ثقيلة جداً » (أكبر من ٥) . ويأخذ كل معدن رقما يدل على كثافته النسبية (وزنه النوعى) يتراوح بين الواحد والعشرين [أنظر جدول رقم « ٢ » بالجزء الثالث من هذا الكتاب] .

ومن الخواص الهامة التى اتخذت أساساً لتصنيف المعادن خاصية التركيب الكيميائى حيث تصنف المعادن إما على أساس الشق الحامضى (الأنيونات) ، أو على أساس الشق القاعدى (الكاتيونات) ، ولكل من هذين التصنيفين خصائصه ومميزاته .

التصنيف الكيميائى للمعادن على أساس الشق الحامضى :

يرتبط هذا التصنيف بالبناء الذرى للمعدن ولذلك يعرف بإسم «التصنيف الكيميائى البلورى للمعادن » crystal-chemical classification of minerals

ويستعمل هذا التصنيف الكيميائى على أساس الشق الحامضى للمعادن على نطاق واسع الآن لعدة أسباب أهمها :

(ا) تتشابه المعادن المشتركة فى الشق الحامضى (كبريتيد . أكسيد ، كبريتات ، فوسفات ، سليكات ، الخ .) ، وتكون مجموعات متشابهة أكثر من تشابه أفراد المجموعات التى تشترك فى الشق القاعدى (كاتيون - نحاس ، رصاص ، زنك ، كالسيوم ، الخ) . فمثلا تتشابه معادن الكبريتات المختلفة أكثر من تشابه معادن النحاس المختلفة مجتمعة .

(ب) توجد المعادن ذات الشق الحامض المشترك فى الطبيعة فى بيئات جيولوجية متشابهة . فمثلا توجد المعادن الكبريتدية للنحاس والرصاص والزنك وغيرها مصاحبة لبعضها البعض فى العروق المائية الحارة ورواسب الاحلال المختلفة ، بينما توجد معادن سليكات الالومنيوم والبوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم والحديد والمغنسيوم وغيرها فى كتل الصخور النارية المختلفه وغيرها من تواجدات الصخور النارية .

التصنيف الكيميائى البلورى للمعادن

تصنف المعادن كيميائيا (على أساس الشق الحامضى) وبلوريا (على أساس البناء الذرى) إلى طوائف Classes ثمانية كما يلى : —

١ — طائفة المعادن العنصرية Native elements .

٢ — طائفة الكبريتيدات Sulfides والأملاح الكبريتية Sulfosalts .

٣ — طائفة الأكاسيد Oxides والهيدروكسيدات Hydroxides .

٤ — طائفة الهاليدات Halides .

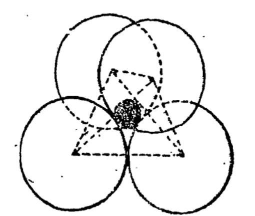
٥ — طائفة الكربونات Carbonates ، النترات Nitrates ، البورات Borates .

٦ — طائفـــة الـكبريتات Sulfates ، الـكرومات Chromates ، الموليبدات Molybdates ، التنجستات Tungstates .

٧ — طائفة الفوسفات Phosphates ، الزرنيخات Arsenates ، الفانادات Vanadates .

٨ — طائفة السليكات Silicates .

وتصنف كل طائفة Class إلى طويفات Subclasses على أسس كيميائية وبنائية . فمثلا تصنف طائفة السليكات إلى ستة طويفات على أساس الوحدة البنائية المعروفة بإسم رباعى الأوجه Tetrahedron ، وهو الشكل الهندسى المكون من أربعة أوجه مثلثية الهيئة والتى تلتقى فى أربعة أركان تمثل مواقع أيونات الأكسجين المحيطة بايون السليكون الموجود فى مركز هذا الشكل « التتراهيدرون » ، شكل (١٧٧) ، لتكون ارتباطا هو SiO_4 . ومن



شكل (١٧٧)
شكل التتراهيدرون الذى يمثل ايون السليكون (فى المركز) المحاط بأربعة اكسجينات (عند أركانه الأربعة)

الصور المختلفة لارتباط هذا الرباعى الأوجه مع رباعى أوجه آخر أو رباعيين أو ثلاثة أو أربعة، عن طريق المشاركة فى أيون الأكسجين (عند ركن واحد) ، أو أيونين (ركنين) أو ثلاثة أيونات اكسجين (ثلاثة أركان) أو أربعة (أربعة أركان وهى كل أركان رباعى الأوجه) . على أساس هذه الصور المختلفة (أنظر وصف المعادن السليكاتية فى الجزء الثانى من هذا الكتاب) . تصنف طائفة السليكات إلى ستة طويفات Subclasses هى :

١ — طويفة النزوسليكات Nesosilicates (أو الأورثوسليكات أو الجزر المستقلة من رباعى الأوجه) ، والبناء الأساسى فيها يتكون من وحدات من رباعى الأوجه [SiO_4] المنفردة .

٢ — طويفة السوروسليكات Sorosilicates ، والبناء الأساسى فيها يتكون من وحدات كل وحدة منها تتكون من أثنين من رباعى الأوجه مرتبطين عن طريق المشاركة فى ايون اكسيجين (ركن واحد من التراهيدرون) بينهما ، وبذلك يصبح تركيبها [Si_2O_7] .

٣ — طويفة السيكلوسليكات Cycosilicates (أو الحلقية) ، تتكون الوحدة فى البناء الأساسى فيها من ثلاثة من التراهيدرون أو أربعة أو ستة مرتبطة مع بعضها البعض عن طريق المشاركة فى أيونى اكسجين (ركنين) لتكون حلقات ثلاثية أو رباعية أو سداسية الشكل ، 3,4,6 [SiO_3]

٤ — طويفة الاينوسليكات Inosilicates (السلسلية) ، تتكون الوحدة فى البناء الأساسى فيها من سلسلة مستمرة من رباعى الأوجه المرتبطة مع بعضها عن طريق ركنين فيها لتمتد بصفه مستمرة فى اتجاه واحد (عادة يكون اتجاه المحور البلورى حـ) . وقد تكون السلسلة مفردة n [SiO_3] أو مزدوجة.

٥ — طويفه الفيللوسليكات Phyllosilicates (الصفائحية) ، تتكون الوحدة فى البناء الأساسى فيها من صفائح من رباعى الأوجه المرتبطة ببعضها عن طريق أركان ثلاثة وبذلك تمتد بصفة مستمرة فى اتجاهين أو بعدين لتأخذ شكل الصفائح أو الوريقات المتراصة فوق بعضها البعض ،[Si_4O_{10}]

٦ — طويفة التكتوسليكات Tectosilicates (الهيكلية) تتكون الوحدة فى البناء الأساسى فيها من هيكل من رباعى الأوجه المرتبطة بعضها ببعض عن طريق اركانها الأربعة ، ويبدو الهيكل framework فى شكل شبكة ممتدة فى الأبعاد الثلاثة n [SiO_2].

وتصنف الطريفة إلى مجموعات Groups يجمع معادن كل مجموعة تشابهها فى

الخواص البلورية والبنائية . فمثلا تصنف طويفة السليكات الهيكلية (تكتوسليكات) إلى أربعة مجموعات على هذا الأساس هى :

مجموعة السليكا	Silica group
مجموعة الفلسبار	Feldspar group
مجموعة الفلسباثويد	Felspathoid group
مجموعة الزيوليت	Zeolite group

وتضم كل مجموعة عدداً من الأنواع Species ، كل نوع له صفاته الكيميائية والبنائية الخاصة والتى تميزه عن نوع آخر فى المجموعة التى تضمهما. فمثلا تضم مجموعة الزيوليت أنواعا من المعادن كل واحد منها يتميز عن النوع الآخر بتركيبه الكيميائى الفريد . ولكن فى بعض الأحيان يكون هناك تدرج فى التركيب الكيميائى بين نوعين أو أكثر من المعادن لتكون مايعرف باسم متسلسلة (أو متتالية) Series . فمثلا ، تضم مجموعة الفلسبار متسلسلة البلاجيوكليز التى تتدرج فى تركيبها الكيميائى من البلاجيوكليز الصودى ، من ناحية ، والبلاجيوكليز الكلسى ، من ناحية أخرى ، وبين الطرفين يوجد بلاجيوكليز يحتوى على الصوديوم والكالسيوم بكميات متدرجة بين الطرفين [أنظر جدول (٢٥) وشكل (١٧٦) ، صفحة ١٧٦] .

والنوع Species من المعادن قد يضم عدة نويعات Subspecies أو أصناف Varieties . ويتميز النويع عن النويعات الأخرى للنوع الواحد بأن له تركيب كيميائى متغير بين حدين تم الاتفاق على اختيارهما ، فمثلا اللابرادوريت Labradorite هو هذا النويع من نوع البلاجيوكليز الذى تتراوح كمية سليكات الألومنيوم والكالسيوم به بين ٥٠ — ٧٠ بالمائة ، والباقى سليكات الالومنيوم والصوديوم (٥٠ - ٣٠ ٪) [أنظر جدول (٢٥) صفحة ١٧٦] . كذلك يعتبر الكوارتز الذى يتكون فى درجات حرارة عالية (بين ٥٧٣° و ٨٧٠° م) - يطلق عليه اسم كوارتز عالى الحرارة أو ألفا كوارتز α quartz - والذى يختلف فى بنائه الذرى وشكله البلورى

من الكوارتز الذى يتبلور فى درجات حرارة منخفضة (أقل من ٥٧٣°م) - يطلق عليه إسم كوارتز منخفض الحرارة أو بيتا كوارتز β quartz - يعتبر هذان الاثنان نويعين من نوع الكوارتز .

أما الصنف Variety فهو نوعية من المعدن متغيرة فى تركيبها الكيميائى أو فى صفاتها الفيزيائية عن بقية الأصناف الأخرى التابعة للنوع الواحد من المعدن . فمثلا ، هناك صنف من معدن الزويسيت Zoisite يطلق عليه اسم ثوليت Thulite لأن لونه وردى ، وهناك صنف من معدن تتراهيدريت Tetrahedrite يطلق عليه اسم فريبرجيت Freibergite لأنه يحتوى على فضة . والإتجاه الحديث فى تسمية المعادن ألا تطلق أسماء مميزة على هذه الأصناف الكيميائية من المعادن ، ولكن تلحق بإسم المعدن (النوع) صفة مميزة تشير إلى الأختلاف الكيميائى . فمثلا ، يستبدل اسم فريبرجيت حاليا بأسم تتراهيدريت الفضى argentian tetrahedrite .

وبالاختصار ، يمكن تسلسل أقسام التصنيف الكيميائى - البلورى للمعادن كما يلى : —

الطائفة	Class	الطويفة	Subclass
المجموعة	Group	النمط	Type
النوع	Species	المتسلسلة	Series
النويع	Subspecies	الصنف	Variety

ويجب ألا يغيب عن الذهن أن تصنيف المعادن ماهو إلا محاولة من جانب جيولوجى المعادن للتبصر والتدبر والتفهم للمعادن ونشأتها ولكن نشأة الطبيعة وخلقها لاتعرف الحدود الفاصلة الجامدة ، فالمعادن - ولو أن منها المتشابه وغير المتشابه - إلا أنها جميعاً تمثل وحدات متدرجة ومتطورة فى خواصها تنضوى فى وحدة الأرض ، ذلك الكوكب المتناسق فى خواصه ، والذى هو وحدة من وحدات الكون . ووحدات الكون تتدرج كلها من الصغير - الذرة وماهو أصغر منها - إلى الكبير - النجوم وما هو أكبر منها - كلها تنتظم فى وحدة واحدة هى وحدة الخلق التى بنيت على قوانين العام (سن الخالق الواحد) .

وهكذا يجب أن ننظر إلى أن تصنيف الإشياء ذات الصبغة العلمية لايبدو فقط نوعا من التنظيم التقسيمى (الارشيفى) ، ولكنه يعتبر أيضاً أساساً للتقييم والمقارنة . فإذا نظرنا إلى التصنيف هذه النظرة فانه يقودنا بالتالى خطوة إلى الأمام نحو تقدم العلم ، ويؤدى بنا إلى التفكير فى خلق الكون من حولنا بصورة أفضل ، ومن ثم وضع الأساس لاتجاهات جديدة فى البحث عن الحقيقة ... الحقيقة التى أودعها الخالق الأوحد فى كل مظهر وفى كل نظام من مظاهر وانظمة الكون ، وما خلقنا السماوات والأرض وما بينهما لاعبين ، ما خلقناهما إلا بالحق (= بالعلم) ولكن أكثرهم لايعلمون ، [صدق الله العظيم] .

وفيما يلى أمثلة من المعادن الشائعة مصنفة تصنيفاً كيميائياً على أساس الشق الحامضى دون ذكر تفاصيل التصنيف فى كل قسم (طائفة) من الأقسام الكيميائية الثمانية ، وقد أرجأنا هذه التفاصيل إلى موضوع وصف المعادن [الجزء الثانى من الكتاب] حيث تناقش تصنيف كل طائفة فى مقدمة الحديث عنها .

١ — العناصر المنصرية NATIVE ELEMENTS

الفلزات العنصرية : الذهب ، الفضة ، النحاس ، البلاتين ، الحديد .
أشباه الفلزات العنصرية : الزرنيخ ، البزموت .
اللافلزات العنصرية : الكبريت ، الألماس ، الجرافيت .

٢ — الكبريتيدات والاملاح الكبريتية SULFIDES AND SULFOSALTS

أرجنتيت	Ag_2S	سنبار	HgS
كالكوسيت	Cu_2S	ريالجار	AsS
بورنيت	Cu_5FeS_4	أوربمنت	As_2S_3
جالينا	PbS	ستبنيت	Sb_2S_3
سفاليريت	ZnS	بيريت	FeS_2
كالكوبيريت	$CuFeS_2$	مركزيت	FeS_2
بيروتيت	FeS	أرسينوبيريت	$FeAsS$
كوفيلليت	CuS	مولبدنيت	MoS_2
تتراهيدريت	$Cu_{12}Sb_4S_{13}$	تانتيت	$Cu_{12}As_4S_{13}$

٢ ـ الاوكاسيد والهيدروكسيدات OXIDES AND HYDROXIDES

كوبريت	Cu_2O	إلمنيت	$FeTiO_3$
بريكليز	MgO	روتيل	TiO_2
زنكيت	ZnO	بيرولوسيت	MnO_2
كوراندوم	Al_2O_3	كاسيتريت	SnO_2
هماتيت	Fe_2O_3	يورانينيت	UO_2
جوتيت	$HFeO_2$	سبينل	$MgAl_2O_4$
ماجنيتيت	$FeFe_2O_4$	كروميت	$FeCr_2O_4$
مانجانيت	$MnO(OH)$	ليبيدوكروسيت	$FeO(OH)$

٤ ـ الهاليدات HALIDES

هاليت	$NaCl$	فلوريت	CaF_2
أتاكاميت	$Cu_2(OH)_3Cl$	كريوليت	$NaAlF_6$

٥ ـ الكربونات والبورات CARBONATES, etc.

كالسيت	$CaCO_3$	رودوكروزيت	$MnCO_3$
ماجنزيت	$MgCO_3$	سيدريت	$FeCO_3$
أراجونيت	$CaCO_3$	سترونشيانيت	$SrCO_3$
ويذريت	$BaCO_3$	سيدريت	$FeCO_3$
ملاكيت	$Cu_2CO_3(OH)_2$	أزوريت	$CU_3CO_3(OH)_2$
نتر	KNO_3	نترصودى	$NaNO_3$

٦ ـ الكبريتات والكرومات والموليبدات والتنجستات SULFATES, etc

أنهيدريت	$CaSO_4$	انجليزيت	$PbSO_4$
باريت	$BaSO_4$	جبس	$CaSO_4 . 2H_2O$
سلستيت	$SrSO_4$	إبسوميت	$MgSO_4.7H_2O$
كروكويت	$PbCrO_4$	ولفينيت	$PbMoO_4$
ولفراميت	$(Fe.Mn)WO_4$	شيليت	$CaWO_4$

٧ — الفوسفات والزرنيخات والفانادات PHOSPHATES, etc.

أباتيت $Ca_5(F,Cl,OH)(PO_4)_3$ ؛ مونازيت $(Ce,La,Th)\ PO_4$

٨ — السليكات SILICATES

أوليفين (سليكات الحديد والمغنسيوم) ، الزرقون (سليكات الزرقونيوم).

جارنت [سليكات الألومنيوم (وعناصر ثلاثية) والمغنسيوم (وعناصر ثنائية)] .

تورمالين (سليكات الألومنيوم والمغنسيوم والبورون والهيدروكسيد) .

بيريل (سليكات الألومنيوم والبيريليوم) .

أوجيت (سليكات الكالسيوم والمغنسيوم والحديد والألومنيوم) .

هورنبلند (سليكات الكالسيوم والمغنسيوم والحديد والألومنيوم مع الهيدروكسيد) .

بيوتيت (الميكا السوداء) (سليكات البوتاسيوم والحديد والمغنسيوم والألومنيوم مع الهيدروكسيد) .

مسكوفيت (الميكا البيضاء) (سليكات الألومنيوم والبوتاسيوم مع الهيدروكسيد)

تلك (سليكات المغنسيوم مع الهيدروكسيد) .

أرثوكليز وميكروكلين (سليكات الالومنيوم والبوتاسيوم) .

البلاجيوكليز (سليكات الالومنيوم والصوديوم والكالسيوم) .

نيفيلين (سليكات الالومنيوم والصوديوم)

لوسيت (سليكات الألومنيوم والبوتاسيوم) .

تصنيف المعادن تبعاً للعناصر والشق القاعدى

تصنف المعادن فى بعض الاحيان تبعا للعناصر ، ويستفاد من هذا التصنيف فى النواحى الإقتصادية وأستغلال المعادن فى الصناعة . وفيما يلى بعض العناصر

(مرتبة أبجديا) وأمثلة من المعادن التى تحتوى عليها (للتعرف على التركيب الكيميائى للمعدن يرجع إلى تصنيف المعادن تبعاً للشق الحامضى وكذلك إلى وصف المعادن فى الجزء الثانى من هذا الكتاب ، أرقام صفحات هذه المعادن موجودة فى دليل المعادن فى آخر الكتاب) .

ألومنيوم : كوراندوم ، سبينيل ، « بوكسيت » ، (صخر يتكون من معادن ألومنيومية مختلفة) ، جارنت ، توباز ، بيريل ، كاولينيت ،فلسبارات ، نيفيلين ، اوسيت .

باريوم : ويذريت ، باريت .

بوتاسيوم : سلفيت ، بوليهالت ، ألونيت ، أرثوكليز .

تنجستن : ولفراميت ، شيليت .

تيتانيوم : إلمينيت ، روتيل ، سفين .

حديد : بيريت ، مركزيت ، هيماتيت ، إلمينيت ، ماجنتيت ، جوتيت (ليمونيت) ، ولفراميت .

ذهب : عنصر الذهب ، كالافيريت .

رصاص : جالينا ، سيروسيت ، انجليزيت .

زرنيخ : عنصر الزرنيخ ، ريالجار ، أورپمنت ، أرسينوبيريت.

زنك : سفاليريت ، فرانكلينيت ، سميثسونيت ، هيميمورفيت ،

زئبق : سنبار .

فضة : الفضة العنصرية ، أرجنتيت ، بيرارجيريت .

فوسفور : أباتيت ، مونازيت .

قصدير : كاسيتريت .

كروميوم : كروميت .

مغنسيوم : دولوميت ، ماجنزيت ، أوليفين ، تلك ، « سربنتين »

موليدنوم: موليدينيت ، ولفينيت .

نيكل : نيكوليت ، ميليريت ، بنتلانديت ، جارنيريت .

يورانيوم : يورانينيت ، كارنوتيت .

الباب السابع

نشأة المعادن

Origin of Minerals

أوضحنا وناقشنا على الصفحات السابقة الخواص البلورية للمعادن : البلورات والأشكال البلورية ومجموعات المعادن المتبلورة - والخواص الفيزيائية للمعادن : لونها وخدشها وبريقها وانفصامها وصلادتها ووزنها النوعى - والخواص الكيميائية للمعادن : العناصر المكونة لها واختبارها وقوانين اتحادها والعلاقات بين المعادن المختلفة كيميائيا والمتشابهة بلوريا (التشابه الشكلى) ؛ والعكس ، العلاقات بين المعادن المتشابهة كيميائيا والمختلفة بلوريا (التعدد الشكلى) ؛ وأخيراً العلاقات بين المواد المختلفة كيميائياً والمختلفة بلورياً (الخداع الشكلى) والآن لنقف قليلا عند هذه المرحلة لنجيب على سؤال يلح علينا فى الاجابة عليه لنستكمل الصورة التى نكونها لأنفسنا عن المعدن ولنحدد معالم هذه الصورة . هذا السؤال هو : كيف تكونت المعادن فى الطبيعة؟ وتحت أية نوع من الظروف تم هذا التكوين؟ وهل طرأ على المعدن تغيير مامنذ تكوينه ؟ وما هو نوع هذا التغيير ؟

وعندما ننتهى من الاجابة على هذه الأسئلة يكون قد تجمعت لدينا معلومات أساسية وتكونت لدينا فكرة واضحة عن التاريخ الطبيعى للمعادن، أو بعبارة أخرى نشأة المعادن . فدراسة نشأة المعادن هى فى الحقيقة دراسة لتاريخها الطبيعى ومن أهم خصائص المعادن - كما ورد فى تعريفها - أنها منتجات طبيعية ، أى تكونت بفعل عوامل طبيعية .

ويمكن إرجاع نشأة المعادن وتكوينها فى الطبيعة إلى أصول أربعة :

١ - التكوين من سوائل طبيعية مصهورة تعرف باسم المجما Magma أو اللافا Lava (الحمم) : نتجت غالبية المعادن المكونة للقشرة الأرضية من تصلب مادة صخرية مصهورة ، أى أن هذه المعادن عبارة عن مكونات الصخور النارية Igneous Rocks (أى مجموعات المعادن التى تصلبت من المادة المصهورة) .

٢ — التكوين من محاليل : وقد يكون التبلور من محاليل مياه أرضية (من أصل جوى) ذات درجة حرارة عادية ، مثل تكوين ملح الطعام (هاليت) ؛ أو تكون المعادن من محاليل مياه نشطة (من أصل نارى) ذات درجة حرارة عالية وضغط كبير نسبيا . وتترسب المعادن المتبلورة من هذه المحاليل فى الشقوق والفجوات . أو قد تحل محل معادن وصخور أخرى .

٣ — التكوين من الغازات والأبخرة : وذلك بأن تتبلور بعض المعادن من مواد غازية مباشرة (دون أن تمر بالحالة السائلة) . ويحدث هذا كثيراً بالقرب من فوهات البراكين حيث تتصاعد كثير من غازات المواد المتسامية التى لا تلبث أن تتكثف بالقرب من فوهة البركان مرسبة بلورات معادن مختلفة . وقد يحدث أيضاً أن تتفاعل الغازات النشطة فى جوف الأرض مع المعادن والصخور التى تقابلها لتكون معادن جديدة .

٤ — التكوين من مواد صلبة (المعادن الموجودة فى الصخور المختلفة) : وذلك نتيجة لتغير فى الظروف المحيطة بها . فقد ترتفع درجة حرارة الوسط الذى توجد فيه نتيجة لتدخل جسم نارى بالقرب منها ، أو يرتفع الضغط الواقع على المعدن نتيجة لحركات القشرة الأرضية وانضغاط بعض الصخور والطبقات على بعضها ، أو يتعرض المعدن لموجة من الأبخرة والغازات النشطة التى تغير من الجو الكيميائى المحيط بالمعدن ، أو قد تشترك كل هذه الظروف مجتمعة مع بعضها . وفى كل من هذه الحالات لا بد أن يكيف المعدن نفسه للوسط والظروف الجديدة وفى بعض الأحيان يقتضى الأمر أن يتحول المعدن الأصلى إلى معدن جديد مختلف تماما عنه ويتلاءم مع الظروف الجديدة .

١ — تكوين المعادن من الصهير أو المادة الصخرية المصهورة

إن الغالبية العظمى من المعادن المكونة للقشرة الأرضية قد تكونت نتيجة لتصلب المادة الصخرية المصهورة التى تعرف باسم « مجما » Magma . ونعنى بكلمة مجما السائل الصخرى ذا درجة الحرارة العالية الموجود أسفل القشرة الأرضية على أعماق ذات حرارة عالية وضغط كبير . أما كلمة لافا (أو لابة أو حمم) Lava فنعنى بها السائل الصخرى المرتفع الحرارة الذى يظهر على سطح

الأرض حيث الضغط قليل (الضغط الجوى العادى) . وقد سبق أن عرفنا الصخر بأنه مخلوط طبيعى من عدة معادن ويكون جزءاً أساسياً من القشرة الأرضية . وتعرف الصخور التى تتبلور من الجما بإسم الصخور النارية Igneous rocks ومن أمثلتها الجرانيت Granite والدايوريت Diorite والبازلت Basalt . ويمكن اعتبار الجما على أنها محلول معقد ثقيل تتحرك فيه العناصر المختلفة بحرية وتحت ظروف خاصة مواتية تتحد هذه العناصر مع بعضها لتكون المعادن .

وتتوقف المعادن الناتجة التى تكون الصخور النارية على التركيب الكيميائى للجما . ولقد قدر أن العناصر الثمانية التاليه تكون — فى المتوسط — نحوا من ٩٩ ٪ من مجموع العناصر الموجودة فى الجما : الاكسجين ، السليكون ، الألومنيوم ، الحديد ، المغنسيوم ، والكالسيوم ، والصوديوم ، والبوتاسيوم .

أما الواحد فى المائة الباقية فتشمل العناصر المختلفة مثل الايدروجين والكربون والكبريت والفوسفور والكلور وكذلك الفلزات الاقتصادية مثل الذهب والنحاس والبلاتين والرصاص والزنك ... الخ .

وتوجد العناصر الثمانية الشائعة (التى تكون ٩٩ ٪) بنسب مختلفة فى الحاليل الصخرية المصهورة المختلفة (الجما المختلفة) . وتوجد العناصر المختلفة فى الجما فى هيئة محاليل السليكات المختلفة التى بها بعض الاكاسيد والكبريتيدات : وتتبلور السليكات أولا من الجما لتعطى المعادن السليكاتية الهامة المكونة للصخور وهى : الفلسبارات البلاجيوكليزية (سليكات الالومنيوم والصوديوم والكالسيوم) ، والاوليفين (سليكات الحديد والمغنسيوم) ، ومعادن البيروكسين Pyroxenes (مثل معدن أوجيت Augite — سليكات الكالسيوم والألومنيوم والحديد والمغنسيوم) ، ومعادن الامفيبول Amphiboles (مثل معدن هورنبلند Hornblende — سليكات الكالسيوم والالومنيوم والحديد والمغنسيوم والماء) ، والميكا Mica (مثل البيوتيت Biotite — سليكات البوتاسيوم والالومنيوم والحديد والمغنسيوم والماء ، والمسكوفيت Muscovite — سليكات البوتاسيوم والالومنيوم والماء) ، والفلسبارات البوتاسية (ومن أمثلتها الارثوكليز والميكروكلين Microcline — معدنان متعددا الاشكال تركيبها الكيميائى سليكات البوتاسيوم والالومنيوم) والكوارتز (ثانى أكسيد السليكون) .

وتتكون الصخور النارية أساساً من هذه المعادن . مثال ذلك، يتكون أحد أنواع الجرانيت من معادن الأرثوكليز والكوارتز والبيوتيت . أما صخر الجابروفيتكون من البلاجيوكليز والأوجيت . وفى بعض الأحيان قد تتبلور أكاسيد وكبريتيدات الفلزات النافعة (مثل الحديد والتيتانيوم والنحاس والكروميوم ... الخ) من المجما لتكون رواسب الخامات Ore Deposits (أى الرواسب ذات القيمة الإقتصادية) ومن أمثلتها الماجنتيت (أكسيد الحديد) والالمنيت (أكسيد الحديد والتيتانيوم) والكروميت (أكسيد الحديد والكروم) والكالكوبيريت (كبرتيد النحاس والحديد) . وتتكون هذه الرواسب الركازية بأنفصال هذه المعادن مباشرة من المجما - نتيجة لعدم قابليتها للذوبان فى المجما - وتجمعها فى هذه الرواسب . وتحتوى المجما أيضاً على كميات صغيرة من بعض المواد الطيارة volatile (أو المواد المعدنة mineralizers) ذائبة فيها مثل بخار الماء وغاز الكلور والفلور والكبريت وثانى أكسيد الكربون ... الخ .

ولا تدخل هذه المواد أو المكونات بكميات كبيرة فى التركيب الكيميائى للمعادن التى تبلورت من المجما فى المراحل الأولى ، ونتيجة لذلك فإنها تتجمع وتتركز فى السائل المتبقى من المجما . ولما كان بخار الماء هو أكثر هذه المواد وجودا فان هذا السائل المتبقى من المجما فى النهاية يتكون أساساً من محلول مائى ذى درجة حرارة عالية . يعرف بأسم المحاليل المائية الحارة Hydrothermal solutions أو المحاليل المجمائية Magmatic solutions .

٢ — تكوين المعادن من المحاليل :

تكونت كثير من المعادن فى الطبيعة نتيجة لتبلورها من المحاليل مثل معدن هاليت (NaCl) وكالسيت ($CaCO_3$) الخ . وهناك مصدرين مختلفين للمحاليل المائية التى توجد فى القشرة الأرضية :

(ا) المياه السطحية (مثل الأمطار والأنهار) التى تتسرب خلال المسام والشروخ والفواصل فى الصخور المختلفة لتعطى المياه الارضية أو المياه الجوية ground or meteoric waters .

(ب) المياه الحمائية وهى عبارة عن المحاليل المتبقية من الجما، وتكون ذات درجة حرارة عالية ومركزة جداً. وتعرف هذه المياه باسم المحاليل المائية الحارة.

وتتبلور أى من هذه المحاليل نتيجة لإحدى الطرق الطبيعية التالية : —

١ — تبخر السائل المذيب : تحتوى مياه البحار والمحيطات والبحيرات المالحة على أملاح كثيرة مذابة فيها ومكونه لمياة ملحية . وعندما تتركز نسبة هذه الأملاح فى هذه المحاليل نتيجه لبخر الماء المذيب فإنها تصل إلى درجة تترسب بعدها بعض المعادن . والمعروف أن مياه البحر تحتوى على الأملاح التالية :

Ca SO_4 ، (٦ ٪) $MgSO_4$ ، (٩ ٪) $MgCl_2$ ، (٧٨ ٪) NaCl (٤ ٪) ، KCl (٢ ٪) . أى أن هذه الأملاح الخمسة - كلوريدات الصوديوم والمغنسيوم والبوتاسيوم وكبريتات المغنسيوم والكالسيوم - تكون ٩٩ ٪ من الأملاح الموجودة فى البحر . وعندما تتبخر مياه البحر تتبلور هذه الأملاح أو مجموعات معينة منها من المحلول بترتيب درجة ذوبانها . فيتبلور أولا — بصفة عامة — الملح الأقل ذوبانا : كربونات الكالسيوم ثم كربونات المغنسيوم ويليه الملح الأكثر ذوبانا : كبريتات الكالسيوم ، ثم تنتهى عملية التبلور بأكثر الأملاح ذوبانا مثل كلوريد الصوديوم .

٢ — الترسيب من المياه الأرضية نتيجة لفقدان الغاز الذى يعمل كمذيب : تحتوى المياه الأرضية المتحركة فى القشرة الأرضية فى بعض الأحيان على كميات لابأس بها من غاز ثانى أكسيد الكربون مذابا فيها ، وتتحول هذه المياه إلى حامض ضعيف (هو حامض الكربونيك) . وعندما يصادف هذا الحامض الضعيف فى طريقه صخورا جيرية (كربونات الكالسيوم) فإنه يذيبها حيث تتكون بيكربونات الكالسيوم القابلة للذوبان فى الماء ، ولكن لما كان هذا المركب الكيميائى الأخير مركبا غير مستقر unstable فإنه يفقد — تحت ظروف كثيرة — مابه من ثانى أكسيد الكربون المذاب فى الماء ليتحول إلى الكربونات المستقرة (أو الثابتة) التى لا تذوب فى الماء فترسب فى الحال كمعدن كالسيت كما فى المعادلات الكيميائيه التالية .

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 = Ca(HCO_3)_2$$

$$Ca(HCO_3)_2 = CaCO_3 + CO_2 + H_2O$$

كالسيت

وفى المناطق الرطبة كثيرة الأمطار والتى تكثر فيها الصخور الجيرية ، تذيب المياه الأرضية كميات كبيرة من كربونات الكالسيوم وتحدث فراغات كبيرة تعرف بإسم الكهوف caves . وعندما تتبخر المياه من هذه الكهوف يترسب منها معدن الكالسيت فى هيئة أعمدة مخروطية يتدلى بعضها من سقف الكهف وتعرف باسم استلاكتيت stalactite ، ويرتفع بعضها قائماً على أرضية الكهف وتعرف باسم استلاجميت stalagmite . وهناك بعض الينابيع تخرج منها مياه مذاب فيها ثانى أكسيد الكربون وبيكربونات الكالسيوم ، وعندما تفقد ثانى أكسيد الكربون نتيجة للبخر تترسب منها الكربونات فى هيئة مسحوق أبيض متماسك فى هيئة كتل مختلفة حول الينبوع ، وتعرف هذه الرواسب بإسم ترافرتين Travertine .

٣ — انخفاض درجة حرارة المحلول وضغطه : تتكون المحاليل المائية الحارة (المحاليل المجماتية) فى ظروف ذات درجات حرارة وضغط عالية ، وتحتوى - نتيجة لذلك - على كميات كبيرة من المواد المذابة مثل الاكاسيد والكبريتيدات والكربونات ... الخ . وعندما تبرد هذه المحاليل ويقل ضغطها يترسب منها معادن مختلفة تعرف بالمعادن المائية الحارة . ولقد قسمت هذه الرواسب المعدنية المائية الحارة إلى ثلاثة أقسام على أساس درجة حرارة المحلول الذى ترسبت منه والعمق الذى تكونت فيه ؛ وهذه الاقسام الثلاثة هى :

١ — رواسب عالية الحرارة Hypothermal deposits : تكونت من محاليل ذات درجات عالية من الحرارة (٥٠٠° — ٣٠٠°م) وتحت ضغط كبير ، أى فى أعماق بعيدة من سطح الأرض . ومن أمثلتها الرواسب التى تحوى معادن الولفراميت Wolframite (تنجستات الحديد والمنجنيز) والمولبدنيت Molybdenite (كبريتيد المولبدنوم) والكاسيتريت Cassiterite (أكسيد القصدير) والجارنت والتوباز والاباتيت .

٢ — رواسب متوسطة الحرارة Mesothermal deposits : وهذه الرواسب تكونت من محاليل ذات درجات متوسطة من الحرارة (٣٠٠° — ٢٠٠° م) وتحت ضغط متوسط أى على أعماق متوسطة . ومن أمثلتها الرواسب التى

تحوى معادن كالكوبيريت وسفاليريت وجالينا وأرسينوبيريت وتتراهيدريت وكالسيت وباريت .

٣ — رواسب منخفضة الحرارة Epithermal deposits : وهذه الرواسب تتكونت من محاليل ذات درجات حرارة أقل من المتوسط (٢٠٠° - ٥٠°م) وتحت ضغط أقل من المتوسط ، أى قريباً نسبياً من سطح القشرة الارضية ومن أمثلتها الرواسب التى تحوى معادن السنبار (كبريتيد الزئبق) . والاستبنيت (كبريتيد الانتيمون) والمركزيت (كبريتيد الحديد) والكالسيت والفلوريت والاوبال والكوارتز .

وعندما تدخل المياه الارضية (من أصل جوى وذات درجة حرارة منخفضة) فى مناطق ساخنة أثناء تجولها فى القشرة الارضيه فان درجة حرارتها لاتلبث أن ترتفع ، وتسخن هذه المياه وتصبح قادرة على إذابة المعادن التى تقابلها وتبقى هذه المحاليل تحت ضغط حتى تجد منفذاً لها (قد يكون شقا أو شرخاً فى القشرة الارضية ، فتنفذ منه لتظهر على سطح الارض فى هيئة ينابيع حارة متفجرة تعرف باسم جايزر Geysers . وبمجرد أن تنخفض درجة حرارة هذه الينابيع المتفجرة ويقل الضغط عليها فانها ترسب كميات كبيرة من الرواسب السيليسية الدقيقة الحبيبات والتى تعرف باسم السنتر السيليسى Siliceous Sinter أو الجايزريت Geyserite ، عبارة عن مادة بيضاء مسامية مكونة من ثانى أكسيد السليكون ، .

٤ — تفاعل المحاليل مع المواد الصلبة «الإحلال» : قد يتفاعل محلول يحتوى على كبريتات الزنك مع الحجر الجيرى ، كالسيت ، وينتج عن هذا التفاعل تكوين معدن سميثسونيت Smithsonite ، ، كربونات الزنك ، وكبريتات الكالسيوم وتعرف هذه العملية التى يتغير فيها المعدن الصلب إلى معدن آخر جديد بفعل المحاليل باسم الإحلال replacement أو « التحول السائلى » metasomatism ويحدث غالباً أن يذيب المحلول المعدن الذى يصادفه ويرسب مكانه فى نفس الوقت معدناً آخر . ويحتفظ المعدن الجديد بالشكل الخارجى للمعدن القديم . وتكون مادة المعدن الجديد — نتيجة لذلك — شكلا كاذبا للمعدن القديم . ومن أمثلة ذلك الخشب الاوبالى Opalized wood الذى نتج من إحلال معدن الاوبال

(SiO_2nH_2O) محل المادة السليلوزية المكونة للخشب بواسطة المحاليل المحملة بثانى أكسيد السليكون ، ولا يزال الاوبال فى هذا الخشب محتفظاً بالمظهر الخشبى .

٥ — تأثير الكائنات الحية على المحاليل : تستخلص بعض الكائنات الحية مثل المرجان والرخويات والمحاريات ، كربونات الكالسيوم من مياه البحار التى تعيش فيها وتفرزها فى هيئة أصداف وأجزاء صلبة ضمن أجسامها. وتترسب كربونات الكالسيوم فى هذه الاجزاء الصلبة إما فى هيئة معدن كالسيت أو معدن أراجونيت . كما أن هناك أنواعا معينة من البكتريا يمكنها امتصاص أكاسيد الحديد أو الكبريت من المياه التى تعيش فيها والتى تحتوى على الحديد أو الكبريتات مذابة فيها. فاذا ماتت هذه البكتريا وتكدست تكونت رواسب معدنية تحتوى على أكاسيد الحديد أو الكبريت .

٣ — تكوين المعادن من الغازات :

قلنا أن المجما تحتوى على غازات ومواد طيارة مذابة فيها تحت ضغط كبير وفى درجة حرارة عالية . وقد لاحظنا أن هذه المواد الطيارة والغازية ـ بصفة عامة ـ لاتدخل فى التركيب الكيميائى للمعادن التى تتبلور فى المراحل الاولى من المجما (أوليفين ـ بيروكسين ـ أمفيبول ـ فلسبار ... الخ) ونتيجة لذلك تصبح المجما فى المراحل الاخيرة من عمليه التبلور غنية بهذه المواد الطيارة . وتحت ظروف مواتية ، كأن يقل الضغط الواقع عليها نتيجة لمصادفتها الشروخ أو الفواصل أو المسام فى الصخور ، تترك هذه المواد الطيارة والغازات المجما المتبقية وتتفاعل مع بعضها البعض أو مع الصخور المحيطة بها. وتشمل هذه المواد الطيارة والغازات بخار الماء (أكثرها وجوداً) والكلور والفلور والبورون والكبريت والمركبات الطيارة لهذه العناصر . أما إذا كانت المجما قريبة من السطح أو على السطح ، لافا ، كما فى انفجارات البراكين ـ فان هذه المكونات الطيارة تهرب لقلة الضغط عليها ثم لاتلبث أن تبرد وتتجمد بسرعة لتترسب مباشرة فى هيئة صلبة حول فوهة البركان . ومن أمثلة المعادن التى تتكون بهذه الطريقة الهاليت ، وملح الامونيا sal-ammoniac ، والكبريت ، وحامض البوريك .

أما إذا لم تهرب الغازات ـ لأن الجما كانت على أعماق بعيدة من سطح الأرض ـ فانها تتفاعل مع الصخور المحيطة بالجسم النارى « مجما جرانيتية » ، وتتكون معادن جديدة نتيجة لهذا التفاعل بين الغازات والصخور الصلبة والذى يعرف باسم التحول الغازى Pneumatolysis أو Pneumatolytic Action . من أمثلة المعادن الناتجة من التحول الغازى Pneumatolytic minerals معدن الكاسيتريت (ثانى أكسيد القصدير) الذى يوجد غالباً مع معدن الفلوريت فى صخر واحد. ويتكون المعدنان نتيجة لتفاعل فلوريد القصدير (مادة طيارة تهرب من الجما) مع الماء (خارج الجما) وينتج أكسيد القصدير وحامض الفلوردريك الذى يتفاعل بدوره مع الكالسيت المكون للصخور الجيرية وينتج معدن الفلوريت كما فى المعادلات الكيمائية التاليه :

$$SnF_4 + 2H_2O = SnO_2 + 4HF$$

كاسيتريت مركب طيار

$$4HF + 2CaCO_3 = 2CaF_2 + 2H_2O + 2CO_2$$

فلوريت كالسيت

ومن المعادن الأخرى التى تتكون نتيجة للتحول الغازى معدن التورمالين Tourmaline « سليكات البورون والألومنيوم والحديد والمغنسيوم الصوديوم » الذى يتكون نتيجة لتفاعل المواد الطيارة الغنية بالبورون مع صخور المنطقة . ومعدن التوباز Topaz « سليكات الألومنيوم والفلورين » الذى ينتج من تفاعل غاز الفلور مع صخور المنطقة ، ومعدن الاباتيت Apatite « فوسفات وكلوريد أو فلوريد الكالسيوم » الذى ينتج من تفاعل مواد طيارة تحوى الفسفور والكلور والفلور مع صخور المنطقة الجيرية .

٤ — تكوين المعادن من مواد صلبة بواسطة التحول Metamorphism

تتغير المعادن المكونة للصخور وكذلك بناؤها وخواصها تغيراً كاملا إذا أثرت عليها عوامل خاصة أهمها الحرارة والضغط وبخار الماء والتفاعلات الكيماوية بالمحاليل . وتعرف هذه التغيرات التى تطرأ على المعادن بأسم التحول Metamorphism . وقد تتحول الأنواع المختلفة من الصخور النارية والرسوبية لتنتج صخوراً متحولة . وقد يحدث التحول فى منطقة محدودة تحيط بالجسم النارى

المتداخل في الصخور ، ويعرف هذا التحول باسم التحول المحدود أو الحراري. وقد يحدث التحول على نطاق واسع نتيجة للحركات الأرضية البانية للجبال Orogenic movements ويشترك في هذه الحالة عاملا الضغط والحرارة في تحويل الصخور الأصلية ويعرف هذا التحول باسم التحول الإقليمي أو التحول الحراري الضغطي. وينتج عن التحول الحراري معادن جديدة أكثر من المعادن التي تتكون نتيجة التحول الحراري الضغطي ، إذ أن هذا الأخير يظهر أثره في التعديلات المختلفة التي يسببها في بناء الصخور أكثر من تكوين المعادن الجديدة . ومن أمثلة المعادن التي تتكون بفعل التحول الحراري : الجرافيت « من تبلور الكربون الموجود في الصخر المتحول » ، الجارنت « من اتحاد أكاسيد وسليكات الحديد والألومنيوم » ، ولاستونيت Wollastonite ($CaSiO_3$) ، من اتحاد كربونات الكالسيوم وثاني أكسيد السليكون بفعل الحرارة ... الخ .

تحلل المعادن بالعوامل الجوية

بمجرد أن تتكون المعادن وتتعرض للعوامل الجوية المختلفة فإنها تكون عرضة للتغير ، ويعرف هذا التغير باسم التأثير الجوي أو التجوية Weathering. وقد يكون هذا فيزيائياً أو كيميائياً ، أما التأثير الفيزيائي فهو الذي يؤدي إلى تكسير المعادن وتفتيتها disintigration ويحدث هذا بواسطة عوامل فيزيائية مثل انخفاض درجة الحرارة وارتفاعها ، وكذلك بفعل الجاذبية والرياح والأنهار وقيامها بنقل الحبيبات المعدنية من مكان إلى آخر فتنبري وتتكسر وتستدير حوافها.

أما التأثير الكيميائي فهو الذي يذهب من معالم المعدن ويحول مركباته الكيميائية إلى مركبات كيميائية جديدة أي إلى معادن جديدة ، ولذلك تعرف هذه العمليات باسم التحلل Decomposition ، وتشمل عمليات كيميائية يدخل فيها الأكسجين « الأكسدة » والماء « التموء » وثاني أكسيد الكربون « الكربنة » وقد تحدث هذه العمليات الكيميائية بسرعة أو ببطء. وفي معظم الأحيان تشترك هذه التفاعلات الكيميائية مع بعضها البعض فينتج على أسطح المعادن المعرضة للعوامل الجويه معادن جديدة عبارة عن كربونات أو أكاسيد أو مركبات مائية للفلزات المكونة للمعادن الاصلية . وقد تبقى هذه على السطح لتدل على المعادن الاصلية التي تحتها ، أو قد تذوب في مياه الأمطار والسيول لترسب مرة أخرى

فى العروق القريبة من سطح الأرض ، أو قد تنتقل إلى الأنهار ومنها إلى البحار حيث تنضم إلى الأملاح المختلفة فى البحر .

ومن أمثلة المعادن التى تتكون نتيجة لعمليات الكربنة (تأثيرها فى أكسيد الكربون الذائب فى الماء) تكوين معدن الكالسيت $CaCO_3$ فى هيئة عمدان أسطوانية متدلاة من سقوف الكهوف تعرف باسم الاستلاكتيت Stalactite وأخرى قائمة على أرضية هذه الكهوف وتعرف باسم إستلاجميت Stalagmite .

ومن أمثلة الأكسدة تكوين الرواسب المعروفة باسم اللاتريت Laterite وهى عبارة عن مخاليط من معادن أكاسيد الحديد والألومنيوم المتميئة، وفى هذه الرواسب تغلب نسبة أكاسيد الحديد على الألومنيوم . وقد تكونت هذه الرواسب المعدنية نتيجة لأكسدة المعادن الحديدومغنيسية فى الصخور النارية فى المناطق الإستوائية الحارة الرطبة . أما إذا كانت نسبة المعادن الحاوية للحديد قليلة جداً فى الصخر المتحلل ، مثل الجرانيت والسيانيت وغيرهما من الصخور الغنية بالفلسبارات ، فان الراسب المتبقى عن التحلل يتكون معظمه من معادن أكاسيد الألومنيوم المائية ويعرف هذا الراسب باسم بوكسيت Bauxite. ومن المعادن التى تتأكسد بسهولة معدن البيريت Pyrite(FeS_2) وهو معدن أصفر براق يتأكسد أولا إلى كبريتات الحديدوز والكبريت تبعاً للمعادلة التالية .

$$\underset{\text{بيريت}}{FeS_2} + 2O_2 \rightarrow FeSO_4 + S$$

أما كبريتات الحديدوز فهى سهلة الذوبان وسريعة التحول إلى مواد أخرى، كما أن الكبريت يتأكسد إلى أكاسيد الكبريت المختلفة .

ومن أمثلة التموء ، اتحاد الماء مع مختلف المركبات المعدنية لتكوين معادن مائية ، تموء معادن الفلسبار لتعطى المعادن الطينية clay minerals ، وتموء معدن الأنهيدريت $CaSO_4$ يعطى معدن الجبس $CaSO_4.2H_2O$.

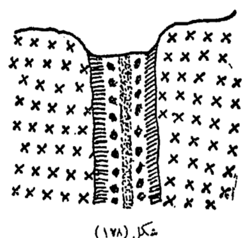
الباب الثامن

وجود المعادن فى الطبيعة

Occurrence of Minerals

كيف توجد المعادن فى الطبيعة ؟ هل توجد بمفردها أم توجد فى مجموعات ؟ وفى هذه الحالة الأخيرة هل هى متماسكة مع بعضها البعض أو سائبة ؟ وما هو شكل الأجسام الناتجة عن هذه المجموعات والمخاليط الطبيعية ؟

توجد المعادن فى الطبيعة إما فى هيئة بلورات مفردة ملتصقة مع بلورات أخرى من نفس المعدن ، أو مع بلورات معدن آخر . وفى العادة تكون هذه البلورات الملتصقة attached منتهية بأوجه بلورية من أحد طرفيها . ولكن فى معظم الأحيان توجد المعادن منتشرة أو مبعثرة disseminated فى معادن أخرى ، لتكون مجموعات أو مخاليط المعادن المعروفة باسم الصخور . وفى هذه الحالة توجد المعادن فى هيئة حبيبات أو جسيمات غير منتظمة . ولكن فى بعض الأحيان تظهر أوجه بلورية وتكون بلورة المعدن منتهية بأوجه من الطرفين . وقد تمتلىء الشقوق والفواصل والشروخ فى القشرة الأرضية بالمواد المعدنية فتظهر المعادن فى الطبيعة فى هيئة عروق veins . وتختلف هذه العروق من حيث إتساعها وأنواع معادنها وترتيب هذه المعادن فيها من مكان إلى آخر . ومن منطقة إلى أخرى ، فقد يظل العرق محتفظا بإتساعه وتخانته لمسافات طويلة ، جانبيا أو رأسيا ، ولكن قد يتغير هذا الاتساع من مكان إلى آخر فيبدو كأنه منتفخا



شكل (١٧٨)

فى بعض أجزاءه ومنكمشاً فى أجزاء أخرى. وقد توجد المعادن مرتبة فى العروق ومصفوفة فى هيئة طبقات أو صفوف ، ويعرف العرق فى هذه الحالة بإسم عرق مصفف banded vein . شكل (١٧٨) ، وفى هذه الحالة تكون المعادن مصفوفة بنظام واحد وأنواع واحدة من جانبى العرق حتى منتصفه ، وفى هذه الحالة يوصف العرق بأنه متماثل التصفيف ، أما إذا كانت المعادن مختلفة من أحد الجوانب إلى الجانب الآخر فيوصف العرق بأنه غير متماثل التصفيف .

وتحتوى العروق على نوعين من المعادن : معادن ذات قيمة إقتصادية (يمكن إستغلالها بفائدة) ويطلق عليها إسم معادن خامات ore minerals ، وهذه المعادن الركازية تكون غالباً عبارة عن معادن الفلزات مثل الجالينا والذهب والكالكوبيريت والبورنيت ، أما المعادن عديمة الأهمية فى تكوين العرق ، أو التى ليس لها فائدة إقتصادية فتعرف بإسم معادن أرضيه gangue minerals فمثلا عندما يستغل الذهب من أحد عروق الكوارتز الحاملة له يعتبر الكوارتز فى هذه الحالة معدن أرضى (لافائدة منه) .

ولما كانت العروق قد تكونت فى الطبيعة بصفة أساسية نتيجة لترسيب المعادن من المحاليل فانه يمكن تقسيم العروق التى تكونت من المحاليل المائية الحارة hydrothermal إلى ثلاثة أنواع تبعاً لدرجة حرارة المحلول الذى ترسبت منه.

١ — عروق عالية الحرارة : Hypothermal veins (٣٠٠° — ٥٠٠°م) معادنها ترسبت عند درجات حرارة عالية وضغط عال . تحتوى على معادن كاسيتريت ، ولفراميت ، مولبدنيت ، ذهب .

٢ — عروق متوسطة الحرارة: Mesothermal veins (٢٠٠° — ٣٠٠°م) ترسبت معادنها فى ظروف متوسطة من الحرارة والضغط . وتحتوى هذه العروق على معادن بيريت ، كالكوبيريت ، جالينا ، سفاليريت ، كوارتز ، سيدريت.

٣ — عروق منخفضة الحرارة Epithermal veins (٢٠٠° — ٥٠°م) وتحتوى على معادن سنبار ، ستبنيت ، مركريت ، بيريت ، ذهب ، كوارتز ، كالسيت ، فلوريت .

وقد توجد بعض المعادن فى الطبيعة نتيجة لإحلال محاليلها محل معادن أخرى وذلك بإذابة المعادن الأصلية وترسيب المعادن الجديدة محلها فى نفس الوقت ، وينتج عن ذلك أن تظهر مثل هذه المعادن الإحلالية أو الرواسب الإحلالية Replacement mineral deposits بمظهر المعدن القديم ، أى تأخذ شكله ، وتوجد فى الطبيعة فى هيئة أشكال كاذبة .

وقد توجد المعادن مالئة لفراغات تشبه الكرات الصغيرة حيث تبطن المعادن سطح الكرة الصخرية من الداخل ، وتعرف هذه الكرات الصغيرة المبطنة بالمعادن (غالباً فى هيئة بلورات جيدة الأوجه) باسم geodes or vugs .

أما بالنسبة لمكان وجود المعدن فى الطبيعة فقد توجد المعادن فى نفس المكان الذى تكونت فيه . وتعرف فى هذه الحالة باسم معادن أصلية primary أو معادن محلية أو معادن موضعية in situ وهذه المعادن لم تنتقل من مكان نشأتها . أما إذا انتقل المعدن من مكانه الأصلى إلى مكان جديد — لم ينشأ فيه — وذلك بفعل الرياح أو الأنهار ... إلخ فيعرف باسم معدن ثانوى أو منقول Secondary وتعرف الرواسب المعدنية الناتجة باسم رواسب ثانويه ، ومن أمثلتها رواسب التجمعات placer deposits ، وبعضها يحتوى على الذهب أو الكاسيتريت أو معادن أخرى ذات قيمة إقتصادية مختلطة بالرمل والحصى . وقد نتجت هذه الرواسب عن تجميعها فى مواضع معينة بواسطة الأنهار أو السيول التى نقلتها من مصادرها الأصلية بعد أن تفتت — ورسبتها فى تجمعات على جانبى الوديان وشواطىء الأنهار او عند المصبات على شاطىء البحر . فمثلا ، إذا وجد الذهب فى عروق الكوارتز (المرو) فيقال إن الذهب يتواجد فى مكانه أو موضعه الأصلى ، أما إذا استخلص الذهب من الرمال والحصى المتجمعة فى نهر أو بحيرة فيقال إن الذهب يتواجد فى تجمعات منقولة . ويتواجد البلاتين والألماس والكاسيتريت (أكسيد القصدير) فى الطبيعة بنفس الصورة أيضاً . فإما أن توجد هذه المعادن فى عروق (مواضعها اصلية) أو فى رواسب التجمعات (منقولة) .

الصخور Rocks

تمثل الصخور المظهر الشائع لمجموعات المعادن فى الطبيعة . وهناك نوعان من الصخور لا يتكون كل منهما من المعادن ، ولكن يتكون أحدهما من مواد عضوية (ليست معادن) ، وهذه هى الأنواع المختلفة من صخر الفحم Coal ، ويتكون الآخر من زجاج طبيعى (مواد غير متبلورة) تجمد نتيجة لتبريد اللافا والحمم السريع على سطح الأرض ، ولم تتح أية فرصة لنمو بلورات معدنية من هذه المادة المصهورة . وقد يتكون الصخر من معدن واحد فقط ، ولكن مثل هذه الحالة هى استثناء وليست عامة ، وحتى لو كان الصخر مكونا من معدن واحد فان وجوده بكميات هائلة حيث يكون طبقات مترامية الأطراف أو جبال كبيرة يجعله أقرب إلى الصخور منه إلى المعادن ، إذ لا يمكن أن تتوافر فيه أهم صفات المعدن وهى التجانس فى جميع أجزائه . وعادة تتكون الصخور من خمسة إلى عشرة معادن أو أكثر .

والمعادن الأساسية فى تكوين الصخور لا تعدو عشرين معدنا فقط هى : معادن الفلسبار والفلسباثويد felspathoids (تشبه معادن الفلسبار فى التركيب الكيماوى ولكن نسبة السليكا فيها أقل) والبيروكسين والامفيبول والميكا والأوليفين والايدوت والجارنت والكلوريت والتلك والسربنتين والكاولينيت والمعادن الطينية والكوارتز والهماتيت والماجنتيت والكالسيت والدولوميت والجبس والأنهيدريت والهاليت .

والصخر بجانب كونه عبارة من مجموعة من المعادن ، فانه كذلك لابد أن يكون جزءاً أساسياً فى تركيب القشرة الأرضية . وفى هذه الحالة يكون الصخر خاصية مميزة تفرقه عن صخر آخر وتجعله وحدة قائمة بذاتها . وعلى ذلك يمكن اعتبار الصخر على أنه الوحدة الأساسية فى بناء الأرض ، أما المعدن فهو وحدة الصخر . وتختلف الصخور عن بعضها البعض من حيث أنواع المعادن المكونة لها ، وعلاقة هذه المعادن ببعضها البعض فى الصخر الواحد . كذلك تختلف من حيث موضع تكوينها فى الكرة الأرضية .

وقد يتكون الصخر من مواد سائبة غير متماسكة مثل الرمل والحصى ، وقد

يتكون من وحدات متماسكة تماماً ، ويكون الصخر فى هذه الحالة شديد الصلادة مثل الجرانيت والبازلت، أى لا تعتبر الصلادة من الخواص الضرورية لتعريف الصخر.

وتكوين الصخور من الأشياء التى نشاهدها يوميا . فالأمطار تكتسح الطين إلى البحيرات والأنهار، وهذه الأخيرة تنقله بدورها إلى البحر حيث يترسب ويكون الصخور الطينية . أما مياه البحيرات المالحة فعندما تتبخر مياهها تترسب الصخور الكيماوية . والأمواج على شاطىء البحر تكسر فى صخور الشاطىء وتحيلها إلى قطع وفتات صغيرة ، ثم ترسبها فى النهاية فى هيئة رمال . أما البراكين فانها تقذف بالحمم واللافا التى تتبلور وتتجمد لتعطى الصخور النارية البركانية .

ويمكن تقسيم الصخور حسب نشأتها الى ثلاثة أقسام رئيسية .

١ — الصخور النارية Igneous Rocks . وتشمل جميع المواد الأرضية التى كانت فى فترة سابقة مواد مصهورة ، أو بتعبير آخر الصخور التى تجمدت من مواد مصهورة (بجما أو لافا) مثل الجرانيت والبازلت .

٢ — الصخور الرسوبية : Sedimentary Rocks . وتشمل جميع المواد الأرضية التى ترسبت بواسطة عوامل طبيعية مثل المياه والرياح والثلج والنباتات والحيوانات ومن أمثلتها الحجر الرملى والحجر الجيرى والطين .

٣ — الصخور المتحولة Metamorphic Rocks . وهى صخور كانت فى أول تكوينها إما نارية أو راسبه ثم تأثرت بعوامل أدت إلى تعرضها إما لحرارة مرتفعة جداً ، أو لضغط عظيم أو للاثنين معا . فاكتسبت من جراء ذلك معالم جديدة ليست لأى من نوعى الصخر الاصليين . أى أنها تحولت من الحالة الأصلية (نارية أو رسوبية) إلى حالة جديدة (متحولة) . ومن أمثلتها الشست والنيس .

وتقدر النسبة المئوية لتوزيع الصخور الأصلية فى القشرة الأرضية كما يلى .

صخور بجمائية (نارية)	٩٥ ٪
صخور طينية	٤ ٪
صخور رملية	٠ر٧٠ ٪
صخور جيرية	٠ر٣٠ ٪

الصخور النارية

تتكون الصخور النارية نتيجة لتجمد المجما فى داخل الأرض أو تجمد اللافا على سطح الأرض .

ويمكن تحقيق الصخور النارية على أساس الخواص التالية .

١ — التركيب المعدنى ٢ — التركيب الكيميائى
٣ — اللون ٤ — النسيج .
٥ — شكل وجودها فى الطبيعة ٦ — البناء .

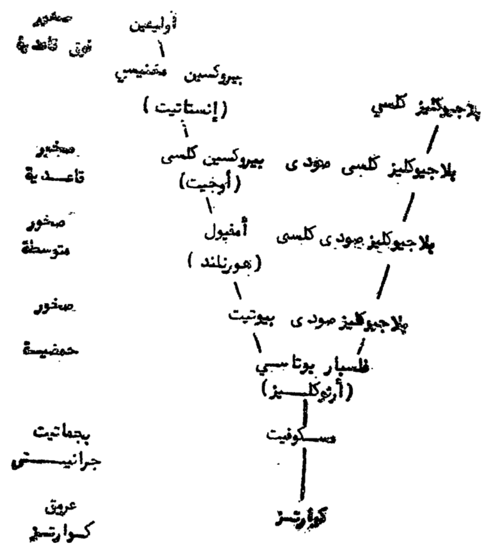
١ — التركيب المعدنى Mineralogical Composition

تتبلور بعض المعادن من المجما عندما تبرد وتصل إلى درجة فوق التشبع بالنسبة لهذه المعادن . وتنقسم المعادن الهامة المكونة للصخور النارية إلى قسمين ١ - معادن أساسية و٢ - معادن إضافية . فالمعادن الأساسية هى التى توجد فى الصخور بكميات كبيرة والتى يتوقف عليها خواص الصخر واسمه . وتشمل المعادن الأساسية مايلى : الفلسبارات ، البيروكسينات ، الامفيبولات ، الميكا ، الفلسباثويدات (مثل لوسيت $KAlSi_2O_6$ Leucite ، نيفلين $NaAlSiO_4$ Nephelina) ، الأوليفين ، الكوارتز . أما المعادن الاضافية — كما يدل عليها الإسم - فهى التى توجد بكميات صغيرة ، وعلى ذلك لاتؤثر كثيراً فى خواص الصخر . وتشمل هذه المعادن الإضافية الماجنتيت ، الالمينيت ، البيريت ، الاباتيت ، الزرقون ، الروتيل ، سفين Sphene ($CaTiSiO_5$)

وتتبلور المعادن المكونة للصخور النارية عادة تبعاً لنظام معين . فتتبلور المعادن الإضافية أولا وتأخذ أشكالا بلورية كاملة ، ويتبعها فى التبلور المعادن الحديدومغنيسية مثل الأوليفين والبيروكسينات والامفيبولات ، ويأتى بعد ذلك معادن الفلسبارات البلاجيوكليزية والبوتاسية (الارثوكليز) ثم الكوارتز .

ويفسر هذا النظام التبلورى تكوين الأنواع المختلفة من الصخور من المجما الأصلية الواحدة . فترسب المعادن الفقيرة فى السليكا (القاعدية) أولا عند درجات الحرارة العالية ، (أعلى من ١٠٠٠°م تقريباً) وذلك لأنها أقل المعادن

ذوبانا ، وتكون صخراً قاعديا . ويتبقى بعد رسوب هذه البلورات القاعدية بجما لها تركيب يختلف عن المجما الأصلية ومنها يمكن أن يتكون صخر وسط ، ومن المجما المتخلفة بعد هذا يتكون صخر حمضى (أى يتكون من معادن غنية بالسليكا إلى جانب وجود الكوارتز) عند درجات حرارة بين ٦٠٠°، ٩٠٠°م تقريباً وليس من الضرورى بتاتا أن توجد فواصل بين هذه الأنواع الثلاثة، بل ربما يحدث أن يكون هناك تدرجا كاملا بين نوع وآخر . ويمثل التخطيط التالى شكل (١٧٩) ، نظام التبلور التنوعى (التفارق) Crystallization Differentiation للمجما .



شكل (١٧٩) نظام التبلور التنوعى (التفارق) للمجما

٢ — التركيب الكيميائى Chemical Composition:

مما سبق يتبين أن التركيب المعدنى للصخر النارى يتوقف بصفة أساسية على التركيب الكيميائى للمجما . فإذا كانت المجما غنية بالسليكا فإن الصخر الناتج سوف يحتوى على معادن غنية بالسليكا وكذلك معدن الكوارتز. أما إذا كانت المجما فقيرة فى السليكا فإن الصخر الناتج سوف يحتوى على معادن فقيرة فى السليكا ولا يحتوى على كوارتز بالمرة . نتيجة لهذا اتخذت نسبة ثانى أكسيد السليكون أساساً لتصنيف الصخور كيميائياً إلى :

(ا) صخور حمضية Acid rocks : وهذه تحتوى على نسبة من السليكا أكثر من ٦٥ ٪ (من ٦٥ ٪ إلى ٨٠ ٪) . أما نسبة الحديد والمغنسيوم بها فقليلة ولذلك فلون هذه الصخور فاتح ، وتحتوى على معادن أرثوكليز أو ميكروكلين بكثرة ، كذلك البلاجيوكليز الصودى والكوارتز ، وكمية قليلة من المعادن الحديد ومغنيسية (مثل البيوتيت) . ومن أمثلتها الجرانيت والجرانوديوريت والريوليت والأبليت والفلسيت .

(ب) صخور متوسطة Intermediate rocks : نسبة السليكا بها بين ٥٢ ٪ و ٦٥ ٪ ، ونسبة الحديد والمغنسيوم بها متوسطة . ولونها أغمق من الصخور الحمضية . ومن أمثلتها الديوريت والأنديسيت والسيانيت والتراكيت .

(ح) صخور قاعدية Basic rocks : نسبة السليكا بها أقل من ٥٢ ٪ ونسبة الحديد والمغنسيوم بها أعلى من النوعين السابقين ، ولونها أغمق يميل إلى السواد . وهذه الصخور تحتوى على المعادن الحديد ومغنيسية بكثرة وكذلك البلاجيوكليزات الكلسية بنسبة متوسطة ، ولكن لا يوجد كوارتز . ومن أمثلتها الجابرو والدوليريت والبازلت .

٣ — اللون Color :

مما سبق يتبين لنا أن لون الصخر النارى يختلف تبعاً للتركيب الكيميائى والمعدنى ، وعلى ذلك يمكن استعمال هذه الخاصية فى التفرقة بين أنواع ثلاثة من الصخور النارية : صخور فاتحة اللون (حمضية) ، وصخور متوسطة اللون (متوسطة) ، وصخور قاتمة اللون (قاعدية ، لا تحتوى على كوارتز بالمرة) .

٤ — النسيج Teture

وكما تختلف الصخور النارية لدرجة كبيرة بالنسبة لتركيبها المعدنى والكيميائى فانها تختلف أيضاً بالنسبة إلى حجم البلورات والحبيبات المكونة لها وشكلها وترتيبها ، وتعيين هذه الخواص المختلفة للمعادن المكونة للصخر النارى وعلاقتها ببعضها البعض هو تعيين لخاصية النسيج .

أى أن لفظ النسيج يطلق على الحجم النسبى لبلورات المعادن المكونة للصخر وشكلها وطريقة ترتيبها . ويتوقف النسيج على السرعة التى بردت بها المجما. فالصخور التى تكونت فى جوف الأرض بعيدة عن السطح لابد أنها بردت ببطء شديد يسمح بنمو البلورات وكبر حجمها أثناء تجمد المجما ، وينتج عن ذلك أن يتكون للصخر المتبلور فى مثل هذه الظروف ، أى فى مناطق بعيدة عن السطح ، نسيج خشن Coarse texture ، ويمكن رؤية مكوناته المعدنية وتمييزها بكل سهولة بواسطة العين المجردة - مثل هذه الصخور تعرف عادة باسم الصخور الجوفية Plutonic rocks : أما إذا ظهرت المجما على سطح الأرض فى هيئة حمم فانها تبرد وتتجمد بسرعة . وتحت هذه الظروف لاتجد البلورات الصغيرة البادئة فى التكون فرصة للنمو . ويحدث أن يتكون صخر دقيق الحبيبات Fine grained ، ويعرف النسيج بأنه نسيج دقيق الحبيبات . ويمكن تمييز البلورات فى هذه الحالة بواسطة عدسة مكبرة .

أما إذا لم يمكن تمييز البلورات إلا بمساعدة الميكروسكوب فيسمى نسيج الصخر النارى فى هذه الحالة باسم نسيج مجهرى التبلور Microcrystalline texture . وهناك بعض الحالات لايمكن تمييز البلورات فيها حتى بالميكروسكوب العادى ولكن يمكن معرفة أنها متبلورة بواسطة استقطابها للضوء (أى تجعل الضوء المار بها يتذبذب فى مستوى محدد ، وهذه الخاصية الضوئية تحدث بواسطة المواد المتبلورة — أى ذات البناء الذرى المنظم — أما المواد غير المتبلورة فانها لاتستقطب الضوء أى لاتحدد مستويات ذبذبته) وذلك باستعمال الميكروسكوب المستقطب Polarizing Microscope ، صفحة ١٥٠ ، وفى هذه الحالة يسمى نسيج الصخر النارى نسيج خفى التبلور Cryptocrystalline texture.

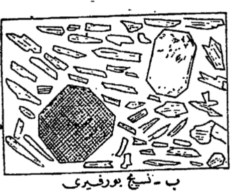
وتتفق جميع هذه الأنواع المختلفة السابقة من النسيج فى أن جميع بلوراتها متساوية تقريباً فى الحجم ، ولذلك يقال أنها متساوية الحبيبات أو منتظمة الحبيبات Even grained ، شكل (١٨٠ — ا) . ولكن هناك صخور يظهر فيها مايسمى بالنسيج البورفيرى Porphyritic texture ، شكل (١٨٠ - ب) وفى هذه الحالة نجد عدداً من البلورات الأكبر حجما موزعة فى أرضية (قاعدة) Groundmass مكونة من حبيبات أكثر دقة . وتسمى البلورات الكبيرة فى هذه الحالة بإسم phenocrysts .

وكثير من الصخور البركانية التى تكونت على السطح لها نسيج زجاجى ، glassy texture ، شكل (١٨٠ — حـ) أى لاتوجد بها بلورات بالمرة ، وذلك لبرودة الحمم وتجمدها بسرعة لم تسمح لتكوين بلورات بالمرة .



أ - نسيج منتظم الحبيبات

وفى الطفوح البركانية السميكة نلاحظ أن الأجزاء الخارجية (التى تلامس الهواء وسطح الأرض) ذات نسيج زجاجى لأنها بردت بسرعة ، بينما تكون الأجزاء الداخلية دقيقة التبلور أو مجهرية التبلور . وعندما تتمدد الغازات فى الطفح البركانى وتهرب منه فى النهاية فإنها تترك فراغات فى الصخر الناتج تعرف باسم الفقاقيع vesicles ، وينتج مايسمى بالنسيج الفقاعى . وقد تمتلىء هذه الفقاقيع بمعادن ثانوية ترسبت من محاليل مرت بهذه الفقاقيع فيتكون مايسمى بالنسيج الاميجدالى Amygoidsloidal texture .



ب - نسيج بورفيرى

حـ - نسيج زجاجى

شكل (١٨٠) أمثلة من أنسجة الصخور النارية

٥ — شكل وجود الصخور النارية فى الطبيعة . Mode of occurrence

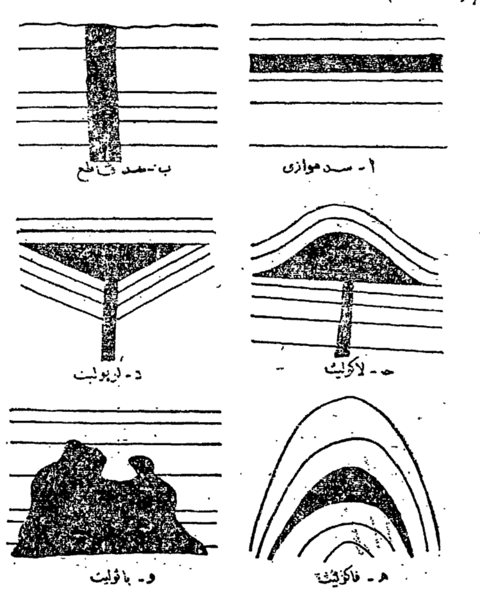
تتصلب المجما أو المادة المصهورة إما فى جوف الأرض أو على سطحها أو بين هذا وذاك . وينتج فى كل من هذه الحالات نوع من الصخور النارية يتميز بصفات خاصة من ناحية درجة التبلور وحجم البلورات الناتجة وشكلها وترتيبها وعلاقتها ببعضها ، أى باختصار يتميز بنسيج خاص . ومما سبق ذكره فى البند السالف يتبين لنا بوضوح كيف أن النسيج يتفق بوجه عام مع مكان تكوين الصخر النارى . وعلى ذلك يمكن تصنيف الصخور النارية (حمضية ومتوسطة وقاعدية) على أساس مكان تكوينها إلى ثلاثة أصناف :

(ا) الصخور الجوفية Plutonic rocks وهى التى تصلبت على أعماق كبيرة فى جوف الأرض تحت عوامل من الضغط والحرارة جعلت التبريد بطيئا وبذلك تمكنت المعادن المكونة لها من التبلور تبلورا ظاهرا أى انها ذات نسيج خشن .

ومن أمثلة هذا النوع صخور الجرانيت والديوريت والجابرو . وتوجد الصخور الجوفية فى هيئة كتل ضخمة جداً تبلغ مئات الكيلو مترات المربعة فى المساحة وتتسع قاعدتها كلما تعمقنا إلى أسفل شكل (١٨١ - و) وتعرف هذه الكتل من الصخور النارية الجوفية باسم باثوليت Batholith وتتكون هذه الكتل فى العادة من صخور الجرانيت والأحجام الأصغر من هذه الكتل الصخرية النارية تعرف باسم بوص Boss أو ستوك Stock وهذه الأخيرة تبلغ مساحتها من ١ إلى ٤٠ كيلو مترا مربعا فقط . ويرجع ظهور هذه الأشكال المختلفة من الصخور الجوفية على سطح الأرض الآن حيث تكون سلاسل الجبال المختلفة إلى عوامل التعرية التى فتتت وحللت ثم جرفت وأزالت طبقات الصخور المختلفة التى كانت تعلوها ، وكذلك العوامل التكتونية (الحركات الأرضية) وكلها أدت إلى ظهور هذه الصخور الجوفية .

(ب) الصخور تحت السطحية (المتوسطة) Hypabyssal rocks وهى التى تدخلت فى صخور وبين طبقات القشرة الأرضية وتصلبت قريباً من السطح مما أدى إلى برودتها بسرعة أكثر من الجوفية (ولكن أقل من البركانية) ولذلك فان بلورتها دقيقة أو متوسطة ونسيجها دقيق التبلور .

وقد يكون هناك بعض البلورات التى قد نمت فى الجما فى جوف الأرض ثم انتقلت مع الجما المكونة لهذه الصخور تحت السطحية حيث ترسبت كبلورات كبيرة Phenocryts تحيط بها بلورات دقيقة تكونت عندما تجمدت الجما بالقرب من السطح. ويكون لمثل هذه الصخور نسيج بورفيرى شكل (١٨٠ — ب) . ومن أمثلة الصخور تحت السطحية البورفيريت والفلسيت والدوليريت . وتوجد هذه الصخور تحت السطحية فى الطبيعة فى هيئة سدود موازية Sill ، شكل (١٨١ — أ) أو سدود قاطعة dikes ، شكل (١٨١ — ب) . والأولى



شكل (١٨١) : رسوم توضيحية لبعض أشكال تواجد الصخور النارية فى الطبيعة

عبارة عن كتل مسطحة من الصخور النارية نتجت من تدخل المجما وتجمدها بين طبقات الصخور المحيطة . أما السدود القاطعة فقد نتجت من تدخل المجمافى الشروخ والكسور القاطعة للطبقات حيث تجمدت . وهى فى ذلك الوضع تشبه الحائط الضيق نسبيا ذى الوجهين المتوازيين . ويتراوح سمك هذه السدود القاطعة من سنتيمترات قليلة إلى مئات الأمتار ، ولكن الغالبية العظمى لا يزيد سمكها عن ثلاثة أمتار .

وقد تتكون الأجسام النارية تحت السطحية فى شكل ناقوس ، وتعرف باسم لاكوليث Laccolith ، شكل (١٨١ — ح) .أو فى شكل طبق ، وتعرف باسم لوبوليث Lopolith ، شكل (١٨١ — د) ، أو فى شكل « السرج » وتعرف باسم فاكوليث phacolith ، شكل (١٨١ — هـ) ويشغل اللاكوليث أو اللوبوليث فى بعض الأحيان مساحات كبيرة تبلغ مئات الكيلومترات المربعة ، ويتكون فى أعماق بعيدة عن السطح .

(ح) الصخور السطحية أو البركانية Extrusive or Volcanic rocks

وهى الصخور التى تصلبت على السطح قرب فوهات البراكين ، أو الشقوق ، التى خرجت منها اللافا إلى السطح . وقد بردت اللافا بسرعة فتجمدت بسرعة أيضاً لم تسمح للبلورات أن تنمو إلى حجم كبير أو أن تتكون بالمرة ، فنتج فى الحالة الاولى نسيج مجهرى التبلور أو خفى التبلور ، ونتج فى الحالة الثانية نسيج زجاجى (غير متبلور بالمرة) . ومن أمثلة هذه الصخور الريوليت والأنديسيت والتراكيت والأبسيديان والبازلت . وتظهر هذه الصخور البركانية فى هيئة طفوح لافية Lava flows ، وهى كتل من الصخور النارية البركانية منتشرة على مساحات واسعة وسمكها بسيط ولذلك فانها تشبه الصفائح Sheets .

٦ — البناء Structure

تحتوى بعض الصخور النارية على بنيات إنسيابية Flow structures ناتجة من وجود بعض بلورات المعادن المكونة للصخر موازية لبعضها تقريباً ، ومرتبة فى اتجاه واحد ، وينتج هذا البناء من تحرك المجما التى تبلور جزء منها ، أى أن البلورات كانت موجودة فى وسط سائل متحرك ثم رتبت نفسها فى اتجاه الحركة .

وعند تمدد الغازات فى الحمم على سطح الأرض يتكون فى الصخر البركانى الناتج بناء فقاعى ، وهذه الفقاقيع تأخذ شكلا مستطيلا (بيضاويا) نتيجة لسير اللافا وتحركها أثناء خروج الغازات من الفقاعة . وقد تدخل المياه السطحية فى هذه الفقاقيع وترسب فيها بعض المعـــادن وخصوصاً معادن الزيوليت Zeolites (سليكات الصوديوم أو البوتاسيوم أو الكالسيوم مع الماء) . وهذه المعادن ترسب غالبا فى هيئة بلورات شعاعية (أى نصف قطرية من مركز الكرة إلى الخارج) ويعرف هذا البناء بالبناء الاميجدالى . وعندما تتجمد اللافا فقد يكون الصخر البركانى الناتج أملسا ومتموجا ، وقد يكون فى شكل الحبال Ropy . وقد تتجمد اللافا فى هيئة وسادات pillows تترا كم فوق بعضها ، ويحدث هذا غالباً فى الطفوح البركانية تحت سطح البحر . وقد توجد الصخور البركانية فى هيئة قطع مكسرة fragments ذات أحجام مختلفة وذلك نتيجة لتراكم المواد المختلفة التى يقذفها البركان فى الهواء (وهى مواد كانت مصهورة ثم بردت بسرعة فجمدت وتكسرت إلى قطع ذات أحجام مختلفة ، وتتراوح بين التراب البركانى الناعم جداً إلى الكتل الكروية أو البيضاوية الشكل والكبيرة الحجم والتى تعرف باسم القنابل Volcanic bombs) .

تصنيف الصخور النارية

توجد أنواع كثيرة من طرق تصنيف الصخور النارية ، ولكن التصنيف ذى الفائدة العملية بالنسبة للطالب المبتدىء هو الذى يعتمد على التركيب المعدنى للصخر . ويتوقف القسم الذى يتبعه الصخر على الخواص الثلاثة التالية : —

١ — كمية السليكا الموجودة بالصخر : أكثر من ٦٥٪ أو أقل من ٥٢٪ أو بين هذا وذاك . والذى يدل على وجود السليكا بنسبة عالية وجود معدن الكوارتز . أما إذا لم يوجد الكوارتز فهذا يدل على انخفاض نسبة السليكا فى الصخور .

٢ — نوع معدن الفلسبار الموجود فى الصخر وكمية كل نوع على حدة : وتشمل معادن الفلسبار الأنواع البوتاسية (أرثوكليز ميكروكلين الخ)

والأنواع البلاجيوكيزية (الصودية مثل الألبيت والأوليجوكليز ، والكالسية مثل لابرادوريت وأنورثيت) .

٣ — نوع النسيج المكون للصخر : أى حجم الحبيبات المختلفة . هل الصخر خشن الحبيبات « جوفى » أو دقيق الحبيبات أو زجاجى « بركانى » ؟

وواضح أنه فى حالة كون الصخر دقيق الحبيبات يصعب أو يستحيل تحقيق المعادن المكونة له وبالأخص الكوارتز أو الفلسبارات ، كما أن تعيين نوع وكمية الفلسبارات بدقة يكاد يكون من المستحيل أيضاً إجراؤه فى الحقل أو بدراسة العينة بالعين المجردة . مثل هذه الدراسات الكمية الدقيقة نقوم بها فى المعمل وذلك باختبار ودراسة الشرائح الرقيقة من الصخر بواسطة الميكروسكوب المستقطب . ولكن يجب ألا يفهم من هذا أن التصنيف المبسط للصخور بقصد التعرف عليها بطريقة عملية سريعة فى المعمل أو فى الحقل لالزوم له . والجدول التالى « جدول رقم ٢٧ » يمثل أقسام الصخور النارية الشائعة ، على أساس التركيب المعدنى والنسيج » .

وصف بعض أنواع الصخور النارية الشائعة .

الجرانيت والجرانوديوريت Granites & Granodiorites الجرانيت صخر فاتح اللون حبيباته خشنة ومنظمة ويتكون أساساً من معدنى الكوارتز و الفلسبار [يوجد النوعين الأرثوكليز « أو الميكروكلين » والأوليجوكليز غالباً] ويمكن تمييز هذه المعادن بسهولة، فالفلسبار البوتاسى لونه وردى أو أحمر خفيف ،أما الأوليجوكليز فلونه أبيض به خطوط رفيعة ومتوازية ناتجة عن وجود التوائم عديدة التركيب ، أما الكوارتز فيمكن تمييزه بأنه لايوجد به أى انفصام وله بريق زجاجى . ويحتوى الجرانيت بالإضافة إلى هذه المعادن على كمية بسيطة [حوالى ١٠٪] من الميكا أو الهورنبلند . أما الميكا فتكون ممثلة بمعدن البيوتيت ولو أنه قد يوجد بعض المسكوفيت . أما المعادن الإضافية القليلة فتشمل معادن الزرقون وسفين والاباتيت والماجنتيت . وهذه المعادن بطبيعة الحال يصعب أو يستحيل رؤيتها وتمييزها بالعين المجردة ، ولكن يمكن تمييزها فى المقطع الرقيق بواسطة الميكروسكوب المستقطب . ويتدرج هذا الصخر إلى صخر آخر يعرف

	صخور فاتحة اللون (حمضية)		صخور متوسطة اللون (متوسطة)		صخور داكنة اللون (قاعدية)	
نسبة السليكا	أكبر من ٦٥ ٪		من ٦٥ ٪ — ٥٢ ٪		أقل من ٥٢ ٪	
الوزن النوعى	٢ر٦٥		٢ر٨٠		٢ر٩٠	
المعادن الأساسية	كوارتز-ارثوكليز ميكروكلين بلاجيوكليز-ميكا	كوارتز-بلاجيوكليز أرثوكليز - ميكا	ارثوكليز بلاجيوكليز	بلاجيوكليز هورنبلند	بلاجيوكليز أوجيت	اوليفين أوجيت
نسيج خشن التبلور	جرانيت	جرانود يوريت	سيانيت	ديوريت	جابرو	بيريدوتيت
نسيج دقيق التبلور	ريوليت	داسيت	تراكيت	انديسيت	دوليريت - بازلت	لمبورجيت
نسيج زجاجى	ابسيديان	—	بتشستون		بازلت زجاجى	
نسيج فقاعى	بيوميس					
نسيج مركب من قطع	البريشيا والتوفا الفلسيتية			البريشيا والتوفا البازلتية		

جدول (٢٧) أقسام الصخور النارية الشائعة

باسم صخر جرانوديوريت يحتوى على غالبية من البلاجيوكليز بدلا من غالبية الارثوكليز فى الجرانيت . أى أن الجرانوديوريت يتكون من البلاجيوكليز والكوارتز وقليل (٥ ٪) من الارثوكليز . وتلاحظ غالباً ازدياد نسبة المعادن القاتمة (الحديد ومغنيسية) كلما أزدادت نسبة البلاجيوكليز ، وينتج عن ذلك أن صخر الجرانوديوريت اغمق لوناً من صخر الجرانيت ، ولكن مثل هذه الفوارق يصعب عادة تمييزها بين الصخرين فى الحقل أو فى العينة . وهذه الصخور كثيرة الإنتشار فى الصحراء الشرقية المصرية وشبه جزيرة سيناء ومنطقة أسوان .

السيانيت Syenite . صخر له نسيج حبيبى منتظم ولونه فاتح ويتكون بصفة أساسية من معادن الفلسبارات البوتاسية والأوليجوكليز وكميات قليلة جداً من الهورنبلند والبيوتيت والبيروكسين . وهو فى هذه الحالة يشبه الجرانيت إلا أن نسبة الكوارتز أصبحت قليلة جداً حيث لا تعدو ٥ ٪ ، وأصبح وجوده غير أساسى فى تركيب الصخر . أما إذا زادت نسبة الأوليجوكليز عن الفلسبار البوتاسى فيصبح اسم الصخر مونزونيت Monzonite . وقد يوجد معدن النيفلين Nepheline فى صخر السيانيت بنسبة ٥ ٪ وفى هذه الحالة يعرف الصخر باسم سيانيت نيفلينى . والنيفلين ($NaAlSiO_4$) معدن ذو بريق صمغى (أو شحمى) ويشبه الكوارتز ولكنه يميز عنه بصلادته الأقل (من ٥½ — ٦) . وتحتوى بعض صخور السيانيت على معدن كوراندوم (Al_2O_3) .

الديوريت Diorite : صخر له نسيج حبيبى منتظم ولونه يميل إلى الداكن ويتميز بوجود البلاجيوكليز (أوليجوكليز أو أنديسين) ، أما الكوارتز والأرثوكليز فلا يوجدان وأما البيوتيت فقد يوجد بكمية قليلة ، والبيروكسينات نادرة الوجود فى هذا الصخر . أما المعادن الإضافية فتشمل الالمنيت والاباتيت ويغلب على الصخر – كما قلنا – اللون الداكن نظراً لوجود المعادن الداكنة (الحديدومغنيسية) بكميات غير قليلة : وهذا الصخر كثير الانتشار فى الصحراء الشرقية وشبه جزيرة سيناء ، حيث يكون كثيراً من الجبال القائمة فى هذه المناطق .

الجابرو Gabbro : صخر حبيبى منتظم مكون معظمه من المعادن الحديدو مغنيسية السوداء اللون . وتشمل هذه المعادن البيروكسين والأوليفين بصفة رئيسية وقد يوجد الهورنبلند . فإذا كان كل الصخر تقريباً مكوناً من معدن البيروكسين

سمى بيروكسينيت pyroxenite . أما إذا كان مكونا من الأوليفين سمى دونيت Dunite أما إذا كان مكونا من الهورنبلند سمى هورنبلنديت Hornblendite وتحتوى صخور البيريدوتيت عادة على معادن الماجنتيت والكروميت والإلمنيت والجارنت . كما أن بعض الأنواع تحتوى على البلاتين ، فى معدن الكروميت ، والألماس . ومعدن الأوليفين سهل التحلل بالعوامل الكيميائية ، وينتج عن التحلل معدن السربنتين Serpentine [سليكات المغنسوم المائية] . فإذا كان كل صخر البيريدوتيت متحللا فان الصخر الناتج يعرف بإسم صخر السربنتين Serpentine rock وهذا الصخر منتشر بين صخور الصحراء الشرقية المصرية

الصخور البركانية Volcanic Rocks

— وتشمل الريوليت Rhyolite (يقابل الجرانيت ولونه فاتح) ، والبازلت (يقابل الجابرو ولونه أسود) وكثير غيرها . ونظراً لان هذه الصخور لها نسيج دقيق أو زجاجى لذلك فأنه يصعب أو يستحيل التمييز بين معادنها المختلفة فى العينة ، ويتميز البيوميس pumice أو الحجر الخفاف بكثرة الفقاقيع الهوائية فيه مما يجعله يطفو على سطح الماء . أما صخور الأبسيديان Obsidian والبتشستون Pitchstone فهى صخور زجاجية متماسكة عديمة المسام .

المعادن المكونة للصخور النارية :

إن المعادن التى توجد فى الصخور النارية كثيرة ، ولكن المعادن المكونة للصخور النارية بصفة أساسية قليلة نسبيا ويمكن حصرها فى قسمين : —

١ — معادن أساسية مكونة للصخور النارية .

٢ — معادن إضافية .

والبيان التالى يمثل المعادن الشائعة التابعة لهذين القسمين : —

أ — معادن أساسية شائعة فى تكوين الصخور النارية :

١ — كوارتز (ثانى أكسيد السليكون) .

٢ — معادن الفلسبار .

أرثوكليز (سليكات ألومنيوم وبوتاسيوم ، $KAlSi_3O_8$)

ميكروكلين (« « « « «) .

بلاجيوكليز (سليكات ألومنيوم وصوديوم وكالسيوم) .

٣ — معادن الفسلباثويد :

نيفلين (سليكات ألومنيوم وصوديوم $NaAlSiO_4$) .

لوسيت (سليكات الومنيوم وبوتاسيوم $KAlSi_3O_8$) .

٤ — معادن الميكا :

مسكوفيت (سليكات ألومنيوم وبوتاسيوم مع شق الهيدروكسيد) .

بيوتيت (سليكات ألومنيوم وبوتاسيوم وحديد ومغنسيوم مع شق الهيدروكسيد)

فلوجوبيت (سليكات ألومنيوم وبوتاسيوم ومغنسيوم مع شق الهيدروكسيد)

٥ — معادن الأمفيبول :

هورنبلند (سليكات ألومنيوم وكالسيوم وحديد ومغنسيوم مع شق الهيدركسيد)

٦ — معادن البيروكسين :

أوجيت (سليكات ألومنيوم وكالسيوم وحديد ومغنسيوم)

هيبرثين (سليكات حديد ومغنسيوم) .

٧ — أوليفين (سليكات حديد ومغنسيوم) .

٢ — معادن إضافية شائعة فى تكوين الصخور النارية :

١ - زرقون (سليكات الزرقونيوم والسكالسيوم)

٢ - سفين (سليكات الايتانيوم)

٣ - ماجنيت (أكسيد الحديد المغناطيسى)

٤ - إلمينيت (أكسيد التيتانيوم والحديد)

٥ - هياتيت (أكسيد الحديديك)

٦ - أباتيت (فوسفات وكلوريد الكالسيوم)

٧ - بيريت (كبريتيد الحديد)

٨ — روتيل (أكسيد التيتانيوم)

٩ — كوراندوم (أكسيد الألومنيوم)

١٠ — جارنت (سليكات الألومنيوم والحديد) .

صخور البجماتيت Pegmatites

هذه الصخور لها نسيج خشن جداً مكون من بلورات كبيرة . وترتبط هذه الصخور بالصخور الجوفية النارية من ناحية الأصل إذ يعتقد أن البجماتيت يتكون من المحاليل المتبقية بعد تبلور المجما وتكوين الصخور النارية الجوفية ، أى أنها تمثل المرحلة المتوسطة بين الصخور النارية الجوفية من ناحية والمحاليل المائيه الحارة من ناحية أخرى .

وتوجد البجماتيت فى هيئة عروق أو سدود قاطعة للصخور النارية الجوفية أو ممتدة من هذه الصخور النارية إلى الصخور المحيطة بها .

والجرانيت يعتبر أكثر الصخور الناريه اتصالا بالبجماتيت (أى أن الاثنين من أصل واحد) . ولذلك يعرف البجماتيت بإسم بجماتيت جرانيتى . والمعادن المكونة لصخور البجماتيت تشبه إذن معادن الجرانيت أى تتكون من الكوارتز والفلسبار والميكا بصفة أساسية . ولكن مع وجود فارق واحد وهو أن هذه البلورات توجد فى البجماتيت فى أحجام كبيرة جداً . ففى بعض الحالات يبلغ طول بعض البلورات عدة عشرات السنتيمترات (بدلا من عدة ملليمترات) ، ويكثر نوع الميكروكلين فى هذه الصخور (بالنسبة إلى نوع الأرثوكليز الذى يوجد فى الجرانيت) .

وأهمية دراسة البجماتيت تنحصر فى أن بعض الأنواع تحتوى على معادن ذات قيمة اقتصادية (مثل معادن الليثيوم وأحياناً معادن القصدير والتنجستن) أو بلورات معادن تستعمل أحجاراً كريمة مثل الزمرد ، وهو نوع من أنواع البيريل $Be_3Al_2Si_6O_{18}$ ، كذلك فهى مصدر لكثير من البلورات المعدنية الكاملة التى تجد مكانها للعرض فى كثير من متاحف المعادن فى العالم .

الصخور الرسوبية

تعتبر الصخور الرسوبية ذات أصل ثانوى ، أى أن المواد المكونة لها آتية من صخور سابقة تفتتت وتحللت بفعل العوامل الجوية المختلفة ، وترسب هذه المواد المفتتة فى أماكن تجمعها بواسطة المياه الجارية (الأنهار مثلا) أو الثلاجات أو الرياح . وتقوم عوامل التجوية weathering بعمليـــة تحلل المعادن المختلفة (التحلل الكيميائى : الأكسدة - التموء - الكربنة - الأذابة) وكذلك بتفتيت المعادن (التفتيت الفيزيائى : التمدد والانكماش بالحرارة والبرودة) وينتج عن كل هذه العمليات تكوين المعادن الطينية والأملاح المختلفة وحبيبات صغيرة من المعادن التى تقاوم التحلل والتفتيت (إلى حد ما) مثل الكوارتز والزرقون والجارنت والماجنتيت .

أين تتكون الصخور الرسوبية .

إن المسرح الكبير الذى تتم فيه عملية الترسيب هو البحر . فأحواض البحار والمحيطات ، مبتدئة من الشواطىء الضحلة للقارات حتى أعمق الأعماق ، هى مآل ونهاية الشوط لإنتقال المواد المفتتة والمتآكلة من الصخور بواسطة الأنهار فى معظم الحالات . وتترسب معظم الرواسب التى يبلغ وزنها ملايين الأطنان سنويا فى المياه الضحلة ، قريباً من الأرض ، وفى مدى ٢٠٠ إلى ٣٠٠ كيلو مترا من الشاطىء ، أما بعـــيداً عن ذلك ، وعلى قاع البحار والمحيطات فتتراكم الرواسب الدقيقة لاصداف حيوانات مجهرية ، وكذلك الرماد البركانى الدقيق الذى تطوف بة الرياح والتيارات الهوائية حول الأرض وينتهى به المطاف ليسقط على سطح البحار والمحيطات ، ثم يهبط إلى القاع . وهناك رواسب تنتج من تآكل وتفتيت الشواطىء بفعل الأمواج وهذه ترسب أيضاً على شاطىء البحر فى هيئة الحصى والرمال .

أما البحيرات الداخلية فإنها تتلقى رواسب من الأنهار التى تصب فيها وكذلك من الرياح . وهناك فى بعض البحيرات تترسب رواسب من الملح أو الجبس أو النطرون (كربونات الصوديوم المائية) نتيجة لبخر مياه البحيرة .

وهناك على سهول الفيضانات وشواطيء الأنهار تترسب كميات ضخمة من الرواسب النهرية . أما فى البحيرات الضحلة، والمستنقعات فى المناطق الاستوائية الرطبة ، فتتراكم المواد النباتية لتتحول فيما بعد إلى صخور الفحم .

وهناك رواسب أخرى تترسب مباشرة على الأرض . فعند حواف الهضاب والجبال تتراكم أكوام من المواد الصخرية المهشمة . وفى الصحارى تتراكم أكوام ذات أشكال مختلفة من الرمال والأتربة التى تذروها الرياح ، وتنقلها من مكان إلى آخر . والتى تعرف باسم الكثبان الرملية . وفى بعض البلاد تنفجر ينابيع من باطن الأرض محملة بالمواد المعدنية الذائبة ، لا تلبث أن تترسب حول الينبوع بعد بخر المياه ، مكونة رواسب معدنية مختلفة ، قد تكون جيرية أو سيليكية .

خواص الصخور الرسوبية

تتميز الصخور الرسوبية بصفة عامة بالخواص الآتية :

١ — وجودها فى هيئة طبقات ، وتتميز هذه الطبقات عن بعضها البعض باللون والسمك والنسيج وقد تكون الطبقات أفقية أو مائلة أو مجعدة .

٢ — احتواؤها على الحفريات ، وقد تكون هذه كبيرة أو مجهرية .

٣ — احتواؤها على بعض المواد المعدنية الخاصة كالبترول والفوسفات والفحم .

٤ — احتواء بعضها على مسام، ولهذه المسام أهمية كبرى فى توزيع البترول والمياه الأرضية ، والمحاليل المشبعة بالمواد المعدنية ، وكذلك فى تخزين الغازات الطبيعية التى توجد تحت سطح الأرض .

التركيب المعدنى للصخور الرسوبية

تختلف الصخور الرسوبية فى تركيبها المعدنى اختلافا كبيرا ، فبعضها يتركب من المواد الكربونية مثل الفحم ، وبعضها يتركب من كربونات الكالسيوم (كالسيت) مثل الصخر الجيرى . وبعضها يتركب من مواد سيليكية (كوارتز) مثل الصخور الرملية (الأرثوكوارتزيت) ، وبعضها يتركب من معادن مركبات السليكات المائية للالومنيوم (مثل الكاولين) كالصخور الطينية . ويلاحظ

وجود المعادن الآتية فى كثير من الصخور الرسوبية على النحو الآتى : —

١ — الكوارتز : يكثر وجوده على الأخص فى الرمل والصخور الرملية .

٢ — الكالسيت : يكثر وجوده فى الصخور الجيرية كالحجر الجيرى والطباشير .

٣ — معادن أكاسيد الحديد : يكثر الهماتيت فى الرواسب الحديدية الرملية مثل رواسب الحديد بأسوان . أما الماجنتيت فيوجد فى رواسب الرمال السوداء المنتشرة على شواطىء الدلتا

٤ — الجبس : ويكثر وجوده فى رواسب البحيرات .

٥ — الهاليت : ويكثر وجوده فى رواسب البحيرات المالحة .

٦ — الطرونا Trona (كربونات وبيكربونات الصوديوم المائية) ويكثر وجودها فى رواسب الطرانات كما هو الحال فى وادى النطرون .

كما توجد معادن الفلسبار والميكا والهورنبلند والتورمالين وغيرها من المعادن المختلفة — ولكن بكميات ضئيلة — فى بعض الصخور الرسوبية .

تصنيف الصخور الرسوبية

تصنف الصخور الرسوبية تبعا لطريقة نشأتها إلى أقسام ثلاثة كما يلى :

١ — رواسب ميكانيكية mechanical sediments : وهذه صخور مكونة من قطع مفتتة من صخور سابقة نقلت وترسبت دون أن يحدث لها تحلل كيميائى ، وكل ماحدث هو تفتت الحبيبات والقطع وترسيبها بواسطة الرياح أو الأنهار أو تكونها على سفوح الجبال وفى الوديان نتيجة لسقوطها بفعل الجاذبية من قمم الجبال . ومن أمثلة هذه الصخور الكونجلوميرات والرمل والطين .

٢ — رواسب كيميائية chemical sediments : وهذه صخور تكونت نتيجة مواد تخلفت بعد بخر المحاليل التى تذيبها وتحويها . ويغلب هذا النوع من الرواسب فى المناطق الصحراوية الحارة حيث تتعرض مياه البحيرات إلى درجة كبيرة من البخر، لا يعوض بخار الماء المفقود ماينزل إليها أحيانا من مياه الأمطار القليلة . وتشمل هذه الرواسب الملح والجبس وبعض أنواع الحجر الجيرى .

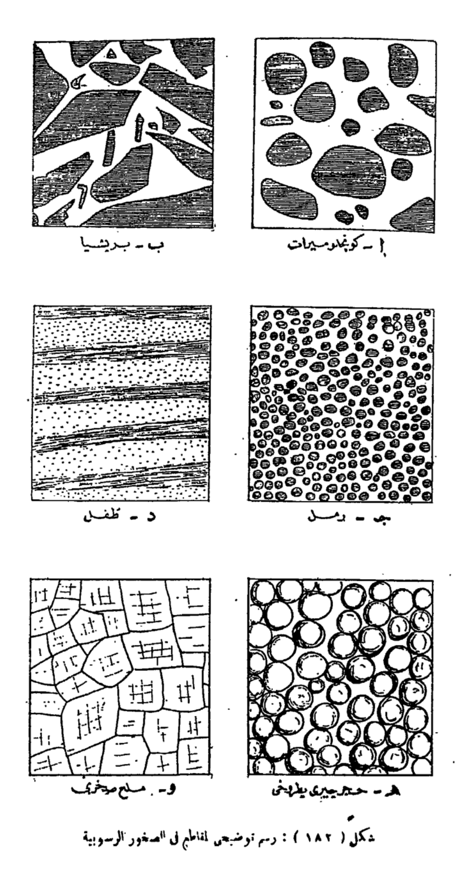
٣ — رواسب عضوية organic sediments : وهى نتيجة تراكم مواد خلفتها الحيوانات أو النباتات . ومعروف أن أغلب النباتات والحيوانات مكون من مواد صلبة وأخرى رخوة ، فإذا ماتت هذه الأحياء تعرضت الأجزاء الرخوة للتحلل والفناء بينما تبقى المواد الصلبة إذا تراكمت تحت عوامل مناسبة كرواسب قد تتحول فيما بعد إلى صخور . وتشمل هذه الأنواع معظم الصخور الجيرية والطباشير (تتكون من أصداف ومحارات الحيوانات المختلفة) والفوسفات والفحم .

أولا — الصخور الرسوبية الميكانيكية

الكونجلوميرات Conglomerate : صخور مكونة من الحصى أو الزلط والرمل عسك بعضها ببعض ، والقطع الكبيرة منها (الحصى والزلط) مستديرة الشكل ، شكل (١٨٢ — ا) نظر لنقلها بواسطة الأنهار والمياه الجارية وقد تتكون من قطع من الكوارتز أو قطع صخرية (تشمل أكثر من معدن) وذلك يتوقف على المصدر الأصلى لهذه الكونجلوميرات . ويتدرج حجم القطع الصخرية المكونة للكونجلوميرات من حجم كبير (١٠ سم فى القطر) إلى حجم صغير (يقرب من ٢ ملليمتر فى القطر) وفى هذه الحالة الأخيرة يتدرج الكونجلوميرات إلى الرمل الخشن .

الرمل والصخر الرملى Sands and Sandstones : يطلق لفظ رمل على كل صخر مفكك أو غير متماسك يختلف قطر حبيباته من ٢ ملليمتر إلى $\frac{1}{16}$ مم ، شكل (١٨٣ — ح) ، ويصنف عادة إلى رمل خشن ورمل متوسط ورمل دقيق :

	اسم الصخر		قطر الحبيبات
الحصى والزلط		:	أكبر من ٢ مم
الرمل	رمل خشن جدا	:	٢ مم — ١ مم
	رمل خشن	:	١ مم — $\frac{1}{2}$ مم
	رمل متوسط	:	$\frac{1}{2}$ مم — $\frac{1}{4}$ مم
	رمل ناعم	:	$\frac{1}{4}$ مم — $\frac{1}{8}$ مم



شكل (١٨٢) : رسم توضيحى لقطاع فى الصخور الرسوبية

الرمل	رمل ناعم جدا	:	١/٨ مم - ١/٣٢ مم
الطين	غرين	:	١/٣٢ مم - ١/٢٥٦ مم
	صلصال	:	أقل من ١/٢٥٦ مم

فإذا تماسكت حبيبات الرمل كونت ما يسمى بالصخر الرملى Sandstone . والمادة التى تسبب تماسك الحبيبات مع بعضها البعض قد تكون سليكا ، أو كربونات (كالسيت) أو أكسيد حديد (هيماتيت أو جوتيت) أو مواد معدنية طينية دقيقة . ويتوقف لون الصخر الرملى إلى درجة كبيرة على لون هذه المادة اللاحمة (أو الماسكة) فإذا كانت سليكا أو كالسيت كان لون الصخر فاتحا : أبيض أو أصفر خفيف أو رمادى . أما التى تحتوى على أكاسيد الحديد فيكون لونها أحمر أو بنى يميل إلى الاحمرار . ويلاحظ أنه عندما يكسر الصخر الرملى فإن الكسر يحدث فى المادة اللاحمة وتبقى الحبيبات بدون كسر ، ويكون ملمس السطح المكسور حديثا حبيى . وأهم المعادن المكونة للصخر الرملى (الأرثوكوارتزيت) هو الكوارتز . فإذا احتوى الصخر على كمية كبيرة من الفلسبار فانه يعرف باسم أركوز Arkose .

وإذا كثر معدن الماجنتيت فى الرمل أعطاه لونا أسود ، ويسمى لذلك رملا أسود Black sand . ويوجد غالبا فى هذه الرمال السوداء بعض المعادن التى تحتوى على العناصر المشعة مثل اليورانيوم والثوريوم بجانب بعض العناصر وأملاحها . ومن أمثلة هذه الرمال : الرمل الأسود الذى يحمله النيل إلى البحر المتوسط فيرسب على الشواطىء بالقرب من رشيد ودمياط والعريش . وتستغل الرمال السوداء عند رشيد اقتصاديا الآن حيث يستخرج منها معدن المونازيت (فوسفات السيريوم أساسيا ويوجد به نسبة بسيطة من الثوريوم) والزرقون والماجنتيت والألمينيت والجارنت .

توجد الرمال فى جمهورية مصر العربية موزعة فى مساحات كبيرة جدا بجميع الصحارى المصرية . وخصوصا الصحراء الغربية والجزء الشمالى من الصحراء الشرقية وشبه جزيرة سيناء . وهى إما أن تغطى سهولا ممتدة ومجعدة السطح من جراء تأثير الرياح فيها . وإما أن توجد فى هيئة كثبان رملية Sand dunes (أكوام رملية) وهذه ترى قرب الشواطىء المصرية وفى أواسط الصحارى .

كذلك توجد الرمال عند أقدام الجبال حيث ألقت بها الرياح التى تحملها .

الصخور الطينية Argillaceous rocks : يطلق لفظ غرين Silt أو صلصال Clay على كل صخر رسائب مكون من حبيبات متوسط قطرها أقل من $\frac{1}{16}$ من المليمتر ، وهذه الحبيبات الدقيقة هى فى العادة عبارة عن فتات الصخور والمعادن المختلفة .

ولكن كثيراً منها عبارة عن معادن طينية Clay Minerals (سليكات الألومنيوم المائية) . والمعادن الشائعة فى الصخور الطينية ، بجانب المعادن الطينية هى الكوارتز والميكا والفلسبار . كذلك توجد بالمواد الطينية غالبا بقايا نباتات متحللة أو متفحمة ومواد جيرية . أما اللون الأسود الذى يغلب فى كثير من الصخور الطينية فيرجع إما إلى انتشار مواد عضوية متحللة (الدبال) أو إلى وجود ذرات نباتية متفحمة أو ذرات من كبريتيد الحديد (البيريت) ، وهناك أنواع من الطين يسودها اللون الاحمر أو الأصفر أو الأخضر لوجود مواد ملونة بها مثل أكاسيد الحديد أو المنجنيز أو سليكات الحديد .

وقد ترتفع نسبة كربونات الكالسيوم فى الطين فيسمى طين جيرى أو مارل Marl . ويحتوى الطين فى العادة على نسبة صغيرة من الماء لاتتجاوز ١٥ ٪ ، فإذا فقد معظم هذا الماء فإنه يتصلب إلى كتل صخرية تسمى الصخر الطينى Mudstone ، إما إذا تصلب فى هيئة طبقات رقيقة أو صفائح Laminae لانضغاط الطين قبل أن يتم جفافه بواسطة ترسيب طبقات صخرية أخرى فوقه فإنه يسمى صخر طينى صفحى أو طفل shale شكل (١٨٢ - د) . وفى العادة يكتسب هذا الصخر خاصية التشقق الصخرى fissility وهذه الخاصية تنتج عن وجود معادن الميكا مرتبة فى مستويات متوازية حيث ينفصل الصخر الطينى الصفحى أو الطفل إلى صفائح . وتحتوى بعض أنواع الطفل على كميات من زيت البترول تصل فى بعض الأحيان إلى ٣٠ أو ٤٠ جالون فى كل طن من الصخر . وتعرف الطفلة فى هذه الحالة باسم طفلة زيتية Oil Shale . ويحصل على الزيت من هذا الصخر بواسطة التقطير عند درجات حرارة منخفضة (حوالى ٤٠٠ °م) .

وهناك نوعان آخران من الصخور الميكانيكية هما : -

البريشيا Breccia ، الجريواكى Greywacke ،

البريشيا : تشبه الكونجلوميرات من ناحية حجم الحبيبات ، أى أنها أكبر من ٢ ملليمترا . ولكنها تختلف عن الكونجلوميرات فى أن الحبيبات والقطع الصخرية المكونة لها مهشمة وذات زوايا حادة (بدلا من القطع المستديرة) ، شكل (١٨٢ - ب) ومتماسكة مع بعضها البعض، فى الغالب، بواسطة مواد معدنية ترسبت من المحاليل وسببت الالتحام . وتوجد البريشيا غالباً فى الصخور الجيرية التى تصدعت وتكسرت ، فتظهر البريشيا فى مستوى الصدع Fault plane نتيجة لتكسير الصخور وتهشيمها أثناء انتقال كتل الصخور على جانبى الصدع .

أما الجريواكى : فيشبه الصخر الرملى ولونه رصاصى أو أخضر داكن ، ويتكون من معادن الكوارتز والفلسبار وكمية كبيرة من المعادن السوداء (أهمها معدن كلوريت وهو معدن أخضر يشبه الميكا فى انفصامه ، وتركيبه سليكات مائية للالومنيوم والحديد والمغنسيوم) والحبيبات بصفة عامة حادة الزوايا (ولذلك يسمى فى بعض الأحيان باسم بريشيا دقيقة Micro-breccia) .

ثانيا — الصخور الرسوبية الكيميائية :

تتكون هذه الرواسب نتيجة لبخر المحاليل الملحية وتراكم المواد المعدنية من المحاليل . والمعدن الذى يترسب أولا هو المعدن الاقل ذوبانا ، أما المعدن الاكثر ذوبانا فيترسب فى النهاية . ومن أهم أمثلة الصخور الرسوبية الكيميائية الجبس والملح والانهيدريت .

الجبس Gypsum : وهو أول معدن يترسب بكميات كبيرة عند بخر مياه البحار ، وتحت ظروف مواتية تتكون طبقات سميكة من الجبس . ويتكون الصخر الناتج من حبيبات دقيقة ولكن فى بعض الأحيان قد يظهر المعدن فى هيئة ألياف أو صفائح . ويوجد الجبس غالباً مع الملح والرواسب الملحية المختلفة وكذلك الجير والطفل حيث تترسب هذه كلها من البحر .

الانهيدريت Anhydrite : ويلى الجبس فى التكوين والترسيب من مياه البحر، ويوجد مكونا لطبقات مشابهة للجبس ، وغالباً يوجد الاثنان معاً بالإضافة إلى رواسب أخرى ملحية .

الملح Salt : يوجد فى طبقات ذات سمك كبير وغالباً ماتكون البلورات واضحة، شكل (١٨٢ -و) .والملح يلى الجبس والانهيدريت فى التبلور والترسيب من مياه البحر المتبخرة ، ولذلك غالباً ما يكون الطبقات العليا للتكاوين الجيولوجية والتى تتكون من الجبس والانهيدريت فى الطبقات السفلى . وقد توجد مع بعض أنواع رواسب الملح رواسب من كلوريد البوتاسيوم (سيلفيت Sylvite) وفى هذه الحالة تعتبر مصدراً هاما لأملاح البوتاسيوم .

ومن أمثلة الرواسب الجبسية والملحية تلك الجبال الممتدة على جانبى خليج السويس والبحر الاحمر قرب منطقة البترول فى رأس غارب وفى المناطق الممتدة على الساحل .

الصخر الجيرى البطروخى Oolitic limestone : وهو أحد أنواع الصخور الجيرية ويتكون من حبيبات صغيرة (فى حدود ٢ ملليمتر على الاكثر) كروية الشكل، شكل (١٨٢ - ه) ، تشبه بطارخ السمك وقد ترسبت كيميائيا من مياه البحار والبحيرات المالحة تحت ظروف معينة ، وتوجد نواة دقيقة (مكونة من ذرة من الرمل أو قطعة مكسرة من صدفة) داخل كل كرة صغيرة من هذه الكرات الجيرية .

رواسب الاستلاكتيت والاستلاجميت Stalactites & Stalagmites

وهذه هى العمدان المخروطية الشكل المكونة من بلورات الكالسيت والتى تتدلى من سقوف الكهوف الجيرية أو ترتفع قائمة على أرضية هذه الكهوف وقد ترسبت هذه العمدان نتيجة لبخر محاليل المياه الارضية المحتوية على حامض الكربونيك وكربونات الكالسيوم الهيدروجينية الذائبة فيها .

الترافرتين Travertine :وهو عبارة عن رواسب جيرية من أصل كيماوى ترسبت حول الينابيع الحارة Hot springs على سطح الارض . وتترسب نتيجة لفقدان المحاليل لغاز ثانى أكسيد الكربون وترسيب كربونات الكالسيوم .

الرواسب الكيميائية السليكية Siliceous sinter : وهى رواسب مكونة من ثانى أكسيد السلكون تتكون حول بعض أنواع الينابيع الحارة المتفجرة التى تعرف باسم الجيزر Geysers ، وتعرف الرواسب أيضاً باسم جيزيريت

الدولوميت Dolomites : وهذه صخور راسبة مكونة من معدن الدولوميت (كربونات الكالسيوم والمغنسيوم المزدوجة) وهى تشبه الحجر الجيرى إلا أنها أثقل قليلا منها وكذلك صلادتها أعلا قليلا ، ولا تتفاعل بسرعة مع حامض الهيدروكلوريك البارد المخفف . ويعتقد أن كثيراً من رواسب الدولوميت قد تكونت نتيجة لتفاعل المحاليل البحرية المغنيسية أو المحاليل الأرضية مع الحجر الجيرى كما فى المعادلة .

$$2CaCO_3 + MgCl_2 = CaMg(CO_3)_2 + CaCl_2$$

الفلنت والشيرت Flint & Chert : هذه صخور كيميائية سليكية ، مكونة من حبيبات مجهرية أو مفتتة متبلورة من السليكات . وتوجد فى هيئة كرات أو عدسات أو طبقات رقيقة (متصلة أو غير متصلة) خصوصاً فى الأحجار الجيرية

ثالثاً — الصخور الرسوبية العضوية

الصخر الجيرى العضوى : وهذه هى أهم أنواع الصخور الجيرية وأكثرها انتشارا فى الأرض . ويرجع تكوينها إلى قدرة بعض أنواع الحياة من حيوانات ونباتات على استخلاص المادة الجيرية من مياه البحار التى تعيش فيها وتحويلها إلى محارات وأصداف لسكناها ووقاية أجسامها الرخوة وتموت هذه الحيوانات والنباتات فتسقط محاراتها وخلاياها إلى قاع البحر وتتكون رواسب جيرية تزداد بمرور الزمن الطويل وتتحول بالضغط ورسوب مواد أخرى بين ذراتها إلى الصخور الجيرية المعروفة . وتعرف الصخور الجيرية العضوية بأسماء مختلفة حسب نوع الأصداف أو المحارات الغالبة فى تكوينها فمثلا يوجد حجر جيرى صدفى Shelly limestone أو مرجانى Coral limestone أو فورامينفرى Foraminiferal limestone ... الخ .

وتوجد الصخور الجيرية فى مساحات واسعة فى مصر حيث تغطى الجزء الشمالى من الصحارى الغربية والشرقية وشبه جزيرة سيناء وتمتد على جانبى نهر النيل من القاهرة حتى قرب إدفو .

الطباشير Chalk : نوع من الصخور الجيرية يمتاز ببياضه الناصع وقلة

صلادته بحيث يترك أثراً أبيضا على أى شىء يلامسه ، وهو مكون من ذرات دقيقة أغلبها أصداف حيوانات بحرية وحيدة الخلية .

صخر الفوسفات Phosphate Rock: صخر مركب من فوسفات الكالسيوم مع مواد أخرى . وهذا الصخر يتكون فى أول الأمر من تراكم عظام حيوانات فقارية بحرية وبرية من اسماك وزواحف ثم تحويلها بمضى الزمن إلى فوسفات الكالسيوم (عظام الحيوانات البحرية تحتوى فى المتوسط على نحو ٦٠ ٪ من فوسفات الكالسيوم) .

توجد طبقات هامة لصخر الفوسفات فى تونس والجزائر والمغرب وكذلك فى مصر قرب البحر الأحمر عند سفاجة والقصير حيث تستغل على نطاق واسع . كما أنها توجد فى جهات متفرقه بالصحراء الشرقية وفى وادى النيل قرب السباعية وإسنا وفى الصحراء الغربية عند الواحات الداخلة والخارجة .

وقد وجد أن بعض صخور الفوسفات تحتوى على نسبة ضئيلة من عنصر اليورانيوم

والفوسفات من المواد التى تحتاج إليها بعض أنواع المزروعات لنموها وقد تفتقر إليها بعض الأراضى ولذلك تستعمل كسماد (فى هيئة سوبر فوسفات قابل للذوبان فى الماء) فى كثير من البلاد .

الفحم الحجرى والرواسب الفحمية والنباتية المختلفة: Lignite, Anthracite, Peat كلها رواسب من أصل عضوى (نباتى) ترسبت فى بيئة الغابات والمستنقعات ثم بعد ذلك تحللت وتفحمت (أى تركز بها الكربون) .

فالمادة المعروفة باسم بيت peat هى موادنباتية مكدسة فى البلاد الرطبة وهى أشبه بالبرسيم المجفف المضغوط وتبلغ نسبة الكربون فيها ٦٠ ٪ .

أما الفحم الكاذب أو الليجنيت lignite فهو عبارة عن رواسب نباتية مضغوطة تحتوى من ٥٥ ٪ إلى ٧٥ ٪ كربون ، سمراء اللون ، وهى توجد عادة ضمن طبقات عصور جيولوجية حديثة . أما الفحم الحجرى أو الأنثراسيت Anthracite فهو صخر أصم حالك السواد سريع الكسر ومكسره محارى .

وتبلغ نسبة الكربون به من ٧٥ ٪ إلى ٩٠ ٪ ويحترق بسهولة فيعطى لهبا صافيا . ويوجد الفحم الحجرى عادة فى طبقات تتخلل طبقات أخرى من الصخور الرملية والطينية تابعة للعصر الكربونى .

وقبل أن ننتقل إلى الحديث عن الصخور المتحولة، وهى التى كانت فى الأصل إما نارية أو رسوبية، سوف نلخص التركيب المعدنى لبعض الصخور الشائعة (نارية ورسوبية) كما هو مبين فى الجدول التالى (جدول رقم ٢٨) .

المعدن	الصخور النارية		الصخور الرسوبية		
	الجرانيت	البازلت	الصخر الرملى	الصخر الطينى	الصخر الجيرى
الكوارتز	٣١ر٣	—	٧٩ر٨	٣١ر٩	٣ر٧
معادن الفلسبار	٥٢ر٣	٤٦ر٢	٨ر٤	١٧ر٦	٢ر٢
الميكا	١١ر٥	—	١ر٢	١٨ر٤	—
المعادن الطينية	—	—	٦ر٩	١٠ر٠	١ر٠
الهورنبلند	٢ر٤	—	—	—	—
الأوجيت	نادر	٣٦ر٦	—	—	—
الأوليفين	--	٧ر٦	—	—	—
الكالسيت الدولوميت	—	—	١ر٦	٧ر٩	٩٢ر٨
خام الحديد	٢ر٠	٦ر٥	١ر٧	٥ر٤	٠ر١
معادن أخرى	٢ر٨	٢ر٨	٠ر٣	٢ر٤	٠ر٣

جدول (٢٨) : متوسط النسبة المئوية لتركيب المعدنى لبعض الصخور الشائعة
(نارية ورسوبية)

الصخور المتحولة

الصخور المتحولة هى صخور طرأ عليها تغيرات فيزيائية (الحرارة أو الضغط أو كليهما) وكيميائية. وعملية التحول هى العملية التى بموجبها يتغير الصخر الأصلى بواسطة عوامل فيزيائية أو كيميائية إلى صخر جديد له خواص جديدة. فعندما

يتحول الصخر الراسب مثلا إلى صخر متحول فإنه يصبح أشد صلادة وأكثر تبلورا . أما الصخر النارى فإنه عندما يتحول يفقد شكله الذى يميزه بأنه نارى (البلورات موزعة بلا نظام) ويكتسب شكلا آخر يتميز بوجود البلورات مرتبة فى خطوط متوازية تقريباً .

وتقسم الصخور المتحولة بوجه عام إلى قسمين :

١ - صخور متحولة بالحرارة Thermal Metamorphic Rocks.

٢ - صخور متحولة بالحرارة والضغط Regional Metamorphic Rocks

الصخور المتحولة بالحرارة .

عندما تدخل الجما فى صخور القشرة الأرضية فإنها تؤدى إلى تغيير الصخور المحيطة بها بواسطة حرارتها العالية والمحاليل الموجودة بها . مثل هذا التغير فى الصخور المحيطة بالجما يعرف بإسم التحول الحرارى أو التحول التماسى ، وينتج عنه فى معظم الحالات تكوين معادن جديدة فى الصخور المتحولة تعرف بإسم المعادن المتحولة بالحرارة . وتوجد هذه المعادن فى الأماكن القريبة أو المتماسة مع الصخر النارى . ونسيج الصخور المتحولة بالحرارة نسيج حبيبى (البلورات متداخلة وموزعة بدون ترتيب معين) ، شكل (١٨٣-١) .

وتتوقف كمية ونوع التحول فى الصخر على حجم الجسم النارى المتدخل وعلى التركيب الكيميائى والخواص الفيزيائية للصخر المحيط بهذا الجسم النارى . فمثلا يتحول الصخر الرملى إلى صخر الكوارتزيت ويتحول الطفل إلى هورنفلس Hornfels وهو صخر متماسك يحتوى على معادن اليوتيت والأندلوسيت (Al_2SiO_5) Andalusite وستوروليت $[Al_2SiO_5 . Fe(OH)_2]$ Staurolite وكورديرت $[(Mg,Fe)_2 Al_3Si_5 Al)O_{18}]$ Cordierite وجارنت .

ومن أهم أمثلة التغيرات والتحولات الحرارية التى تنتج فى الصخور التحول الحرارى للصخر الجيرى . فعندما يتحول الصخر الجيرى النقى بالحرارة فانه يتبلور من جديد ويكون صخر الرخام . ولكن الصخر الجيرى يوجد به فى كثير من الأحوال شوائب مختلفة تشمل معادن الدولوميت والكوارتز والطين وأكاسيد

الحديد بكميات متفاوتة فتجعل منه صخرا غير نقى ، وتحت تأثير الحرارة (الضغط فى بعض الأحيان) تتحد هذه الشوائب مع كربونات الكالسيوم لتكون معادن جديدة ، فمثلا قد يتحد الكوارتز مع الكالسيت ليكونا معدن ولاستونيت ($CaSiO_3$) ، بينما يتفاعل الدولوميت مع الكوارتز ليعطيا معدن الدايوبسيد ($(CaMg)(SiO_2)_2$) . أما فى وجود الطين فإن الألومنيوم الموجود به يشترك فى التفاعل وتتكون معادن مثل الكوراندوم وسبينيل ، والجارنت الكالسى (جروسيولاريت) . أما إذا وجدت مواد كربونية فإنها تتحول بفعل الحرارة إلى جرافيت .

أ ـ نسيج حبيبى (الرخام)

وعلى ذلك يمكن تلخيص المعادن التى تتكون فى الصخر الجيرى غير النقى المتحول بالحرارة فيما يأتى : جرافيت ، سبينيل ، كوراندوم ، ولاستونيت تريموليت ، ديوبسيد ، وجارنت كالسى .



ب ـ نسيج صفائحى (الشست)

شكل (١٨٣) : نسيج الصخور المتحولة

وإذا اشتركت محاليل حرارية مائية مع الحرارة فى عملية التحول فإنه ينتج فى الصخر المتحول مجموعة كبيرة من المعادن أكثر من تلك التى تتكون بالحرارة فقط .

صخور التحول الاقليمى :

تحدث هذه التحولات فى الصخور على نطاق واسع وتشمل إقليما كبيرا ويشترك فيها عوامل عدة أهمها الضغط والحرارة المرتفعان ويساعدهما تأثير الماء والمحاليل الكيميائية . ويشمل التحول فى معظم الأحيان ترتيب المعادن المكونة فى نظام جديد يتفق مع الظروف الجديدة ، وفى بعض الأحيان قد تتكون معادن جديدة أو تحدث إضافات أو استخلاص لبعض العناصر الكيميائية وعملية التحول هذه قد تصل فى تغييرها إلى درجة تزيل معها معالم الصخر الأصلى إزالة تامة . ويحدث هذا التحول نتيجة لحركات صخور القشرة الأرضية التى ينتج عنها تكوين الجبال والتى تعرف باسم الحركات البانية للجبال ، وتنتج الثنيات والتجاعيد الجيولوجية المختلفة . وفى هذه الثنيات تتعرض الصخور إلى درجة عالية من الضغط والحرارة فتتغير هذه الصخور وتتحول معادنها الأصلية إلى معادن جديدة أكثر استقراراً وتكيفا مع الظروف الجديدة ، وكذلك يتغير البناء الطبيعى للصخر نتيجة لهذه الظروف الجديدة فتتكسر بعض المعادن بسبب الضغط الواقع عليها أو قد تتفلطح أو تتبلور وتصطف بلوراتها فى صفوف وطبقات متوازية . وتعتبر هذه الخاصية الصفائحية أو المصفوفة التى تنتج عن ترتيب المعادن فى صفائح أو صفوف أهم خاصية مميزة لتسيج هذا النوع من الصخور المتحولة الاقليمية ، شكل (١٨٣ — ب) ، وبواسطتها يمكن التمييز بين الصخر المتحول والصخر النارى . ويتوقف الصخر المتحول الناتج على عاملى الضغط والحرارة وذلك بالإضافة إلى التركيب الكيميائى للصخر الأصلى . وكلما اشتد التحول بازدياد الضغط والحرارة فإنه تتكون مجموعات جديدة من المعادن تتناسب مع هذه الشدة . فمن المعادن التى تتكون تحت ظروف من الحرارة والضغط المنخفضين المسكوفيت والكلوريت والكوارتز والبيوتيت ، أما الكيانيت Kyanite (Al_2SiO_5) والسيليمنيت Sillimanite (Al_2SiO_5) والجارنت والأوليجوكليز فانها تتكون فى ظروف من الحرارة والضغط الشديدين .

وقد أمكن تقسيم الصخور المتحولة بالحرارة والضغط إلى نطاقات Zones عريضة تضم كل منها مجموعة من المعادن تكونت فى ظروف واحدة من التحول (منخفضة — متوسطة — عالية) . ومن أمثلة هذه النطاقات تلك التى تتكون

فى الصخور الطينية والتى تضم كل منها مجموعة من المعادن الأساسية مبينة كما يلى ومرتبة من التحول المنخفض (أول نطاق) إلى التحول العالى (آخر نطاق) .

النطاق	المعادن
كلوريت	مسكوفيت ، كلوريت ، كوارتز .
بيوتيت	بيوتيت ، مسكوفيت ، كلوريت ، كوارتز .
جارنت	جارنت (ألمنديت) ، مسكوفيت ، بيوتيت ، كوارتز .
ستوروليت	ستوروليت ، جارنت ، بيوتيت . مسكوفيت ، كوارتز .
كيانيت	كيانيت ، جارنت ، بيوتيت ، مسكوفيت ، كوارتز .
سيليمنيت	سليمنيت ، كوارتز ، جارنت ، مسكوفيت ، بيوتيت . أوليجوكليز . أرثوكليز .

ومما سبق نلاحظ أن الصخور المتحولة بالحرارة لها نسيج حبيى (غير صفائحى non foliated) أما الصخور المتحولة بالحرارة والضغط فلها نسيج صفائحى foliated .

ومن أهم أمثلة النوع الأول (الحبيى) الكوارتزيت والرخام والهورنفلس أما أمثلة النوع الثانى (الصفائحى) فتشمل الشست والنيس والأردواز .

ويمثل جدول (٢٩) تصنيفاً مبسطاً للصخور المتحولة على أساس النسيج .

وفيما يلى وصف مختصر للأنواع الشائعة من الصخور المتحولة .

الكوارتزيت Quartzite : يتكون الكوارتزيت ـ كما يدل الإسم عليه ـ من معدن الكوارتز . وينتج هذا الصخر من التحول الحرارى للصخر الرملى ، وفى هذا الصخر تلتحم حبيبات الكوارتز بعضها ببعض بواسطة السليكا التى ترسبت بين الحبيبات وفى مسام الصخر الأصلى وينتج عن ذلك أن يكون الصخر المتحول صلداً جداً ، وإذا كسر فإنه ينكسر عبر حبيبات الكوارتز ، وبذلك يمكن تمييزه عن الصخر الرملى حيث يحدث المكسر حول حبيبات الرمل . والكوارتزيت لايتفاعل مع حامض الهيدروكلوريك .

صخور متحولة ذات نسيج حبيبي (موزايك)	دقيق الحبيبات ، رمادي اللون	الهورنفلس
	يتدرج من دقيق إلى متوسط الحبيبات، صلادته تتراوح بين ٣ ، ٦ ، يتفاعل بفوران مع حامض الهيدروكلوريك	الرخام
	صلادته من ٦ إلى ٧ . لا يتفاعل مع حامض الهيدروكلوريك	الكوارتزيت
صخور متحولة صفائحية	دقيق الحبيبات ، يتشقق بسهولة	الأردواز
	متوسط الحبيبات ، الصفائح متصلة	الشست
	خشن الحبيبات ، الصفائح غير متصلة	النيس

جدول (٢٩) تصنيف مبسط للصخور المتحولة

الرخام Marble : الرخام صخر متحول عن صخر جيرى ، وهو صخر متبلور مكون من حبيبات الكالسيت بصفة عامة ولكن فى بعض الأحوال النادرة قد يتكون من الدولوميت . والحبيبات المكونة للرخام قد تكون صغيرة جداً لدرجة لا يمكن تمييزها بالعين المجردة . وقد تكون كبيرة خشنة حتى أنه يمكن تمييز انفصام الكالسيت بسهولة ، ويشبه الرخام الصخر الجيرى فى صلادته المنخفضة وفى تفاعله مع حامض الهيدروكلوريك وحدوث فوران . والرخام لونه ابيض إذا كان نقيا خاليا من الشوائب ولكنه قد يبدو فى ألوان متباينة (الاحمرار أو الخضرة أو الرصاصى أو مايقرب من السواد) لاحتوائه على شوائب مختلفة .

الهورنفلس Hornfels : يطلق هذا الإسم على الصخر المتحول الناتج عن التحول الحرارى للصخور الطينية . ومعظم المعادن المكونة لهذا الصخر دقيقة الحبيبات ولا يمكن تمييزها إلا بواسطة الميكروسكوب المستقطب . والهورنفلس لونه رمادى ويتكون من معادن الفلسبار والبيوتيت ومعادن أخرى حديدو - مغنيسية متحولة ، وأغلب صخور الهورنفلس لها نسيج حبيبى متساوى ، ولكن هناك بعض الصخور التى تتكون أرضيتها من معادن حبيبية (مثل السكر) وموزع فيها بلورات كبيرة : وتعرف البلورات الكبيرة فى مثل هذه الصخور المتحولة بإسم بورفيروبلاست porphyroblast .

الاردواز Slate : صخر متحول ذو لون رمادى داكن ينتج عن التحول الضغطى للصخور الطفلية Shales ، والنسيج حبيى دقيق ، ولكن الصخر يتميز بوجود خاصية التشقق الصخرى فيه ، أى أنه يتشقق بسهولة ، وينتج عن هذا التشقق الاردوازى صفائح وألواح رقيقة وكبيرة المساحة ، وقد يحدث هذا التشقق الاردوازى موازيا لمستوى الطبقات فى صخر الطفل الأصلى وقد لا يوازيها. وصخر الأردواز من الصخور الشائعة فى القشرة الارضية .

الشست Schist : الشست صخر متحول بالضغط والحرارة له نسيج مميز يعرف باسم النسيج الشستى عبارة عن حبيبات دقيقة أو متوسطة توجد بين صفائح متقاربة ومتوازية تقريباً، وتتكون الصفائح من معادن الميكا المختلفة، والصخر ينفصل بسهولة عند هذه الصفائح. وهناك أنواع كثيرة من الشست يطلق عليها أسماء مختلفة أهمها الشست الميكائى Mica schist الذى يتكون بصفة أساسية من معادن الكوارتز والميكا (عادة المسكوفيت أو البيوتيت). وتظهر الميكا بوضوح فى الصخر مكونة صفائح كتلية أو ورقية أو مرتبة بحيث توجد جميع مستويات انفصامها موازية لبعضها مما يجعل الصخر يبدو فى هيئة صفائحية مميزة. ويوجد عادة بجانب الميكا والكوارتز معادن أخرى إضافية مثل الجارنت ، ستوروليت ، كيانيت ، سيليمنيت ، أندلوسيت ، إبيدوت ، هورنبلند ، تلك ، كلوريت ، الامر الذى يجعل الصخر يسمى باسم شست جارنيتى ، وشست ستوروليتى ، وشست كيانيتى ... إلخ تبعاً لنوع المعدن الإضافى المميز ، والشست إما أن يكون متحولا عن صخر نارى أو صخر رسوبى .

النيس Gneiss : النيس صخر متحول له نسيج خشن متبلور إلا أن بلورات المعادن المختلفة مرتبة فى صفوف متوازية . فمثلا فى بعض الانواع توجد طبقات أو صفوف من الميكا السوداء وبينها توجد صفوف أخرى من معدن الكوارتز والفلسبار . وتكون هذه الصفوف عادة متقطعة ، أى ليست متصلة ومستمرة كما هو الحال فى الشست ، ونرى فى هذا النوع أن تركيبه المعدنى مماثل التركيب المعدنى لصخر الجرانيت ولذلك يسمى النيس الجرانيتى Granite gneiss نسبة الى أن أصله جرانيت تحول بفعل الضغط والحرارة إلى نيس . وهناك أنواع

أخرى كثيرة من النيس بعضها أصله نارى والبعض الآخر أصله راسب . وقد يسمى النيس حسب تركيبه المعدنى مثل النيس البيوتيتى والنيس الهورنبلندى الذى يدل على أن الصخر غنى بمعدن البيوتيت أو الهورنبلند ... الخ .

وتعتبر صخور النيس أكثر الصخور المتحولة انتشارا فى القشرة الأرضية ويليها صخور الشست . وفى الصحراء الشرقية المصرية وشبه جزيرة سيناء توجد صخور النيس والشست منتشرة بكميات كبيرة مكونة لكثير من الجبال وتابعة لأقدم الأحقاب الجيولوجية (حقب ماقبل الكمبرى Precambrian) .

الشهب والنيازك Meteors and Meteorites

إن الذى يرقب السماء فى ليلة صافية ، يرى عشرات من الأجسام المضيئة المتحركة بسرعة خاطفة منطلقة فى قبة السماء فى إتجاهات مختلفة وكأنها أسهم نارية ، بيضاء أو خضراء اللون ، لاتلبث متوهجة لثوان معدودات ثم تنطفىء وتختفى . هذه الأجسام المضيئة كالأسهم الخاطفة هى الشهب ، وهى أجسام مختلفة الأحجام قادمة من الفضاء الخارجى ، وتمثل أجزاء من كوكب شبيه بالأرض ، ولكن أصغر حجما منها ، وقد حدث فيه انفجار أو تصادم أدى إلى تفتته . والشهب تلمع فى خطوط مضيئة نتيجة للاحتكاك الشديد بينها وبين جو الأرض ، ذلك الإحتكاك الذى يرفع درجة حرارة جسم الشهاب إلى حد أن يتوهج ويشتعل ويستحيل إلى رماد فى لمح البصر . أما إذا كان الجسم كبيراً نوعاً ما ، فقد لايحترق بأكمله ، وحينئذ يصل ماتبقى منه إلى سطح الأرض ، فى هيئة نيزك ، ليرتطم بها . وقد يحدث هذا الارتطام حفرا أو فجوات كبيرة .

إن الشهب والنيازك فى الحقيقة تؤدى للعلم والمعرفة خدمة جليلة ؛ ذلك لأنها الأجسام الفلكية الوحيدة التى تصل إلى أيدينا من الفضاء لنقرأ فيها اسطرا فى صفحة من صفحات الكون . ترى مم تتكون النيازك ؟

تمثل النيازك نوعاً خاصاً من تواجدات المعادن . وتصنف النيازك إلى أنواع ثلاثة :

١ — نيازك مكونة من سبيكة النيكل والحديد [Siderites or irons].

٢ — نيازك مكونة من خليط من الحديد والنيكل وسليكات متبلورة (الأوليفين بصفة أساسية أو البيروكسين) [Siderolites or stony irons].

٣ — نيازك مكونة من السليكات المتبلورة [Aerolites or stones].

تتكون النيازك الحديدية بصفة أساسية من سبيكة الحديد والنيكل (متوسط تركيبها الكيميائى : ٩١ ٪ حديد ، ٨ر٥ ٪ نيكل ، ٥ر٠ ٪ كوبالت) وتحتوى عادة على نسب ضئيلة من معادن ترويليت Troilite (FeS) ، شريبرزيت Schreibersite $(Fe,Ni,Co)_3P$ كوهنيت Cohenite (Fe_3C) جرافيت ؛ وقد وجد الألماس فى أحد النيازك . وتتميز النيازك الحديدية بأنسجة خاصة مميزة .

أما النيازك المعروفة بإسم سيدروليت ، فإنها تتكون من خليط من النيكل والحديد والسليكات بكميات متساوية تقريباً ، والسليكات عادة ما تكون أوليفين وفى بعض منها بيروكسين ، والنسيج عبارة عن حبيبات مستديرة .

أما النيازك الحجرية فإنها تتكون بصفة أساسية من معادن سليكاتية مختلفة .

ويلاحظ أن الشهب تحوى نفس العناصر الكيميائية الموجودة فى معادن الأرض وصخورها ، ولكن نسب هذه العناصر مختلفة تماما . فمثلا ، فى الشهب الحديدية نجد النيكل فيها يتراوح مابين حد أدنى هو ٥ ٪ وحد أعلى هو ٣٤٫٪ ، وهى نسب غير معروفة فى أى معدن أو صخر أرضى . كذلك نجد أن ارتباط هذه العناصر لتكون ما يعرف بإسم المعادن يأخذ صوراً الكثير منها غير معروف بين معادن الأرض ، والقليل منها ما هو معروف . كما أن معظم المعادن الغنية بالأكسجين والموجودة فى الأرض ، أو تلك التى تكونت من محاليل مائية غير موجودة بالمرة بين مادة الشهب والنيازك ومكوناتها .

معادن وصخور القمر Minerals and rocks of the Moon

القمر تابع الأرض يبلغ قطره ٣٤٦٠ كيلو مترا تقريباً ، ويبعد عن الارض بحوالى ٣٠٠٠٠٠ كيلو متراً . وقد هبط الإنسان لاول مرة على سطحه عام ١٩٦٩ (رحلة أبوللو رقم ١١ فى الفترة من ١٦ — ٢٤ يوليه ١٩٦٩) وجمع عينات من سطحه ، وتبع ذلك خمس رحلات أخرى هبط فيها الإنسان على القمر وجمع مزيداً من العينات . أثبتت الاختبارات التى أجريت على العينات التى جمعت من سطح القمر أن الانواع التالية من الصخور توجد ضمن الصخور المكونة لقشرة القمر :

١ — خليط من المعادن المهشمة المتماسكة Soil breccia : وهذا النوع من الصخر الدقيق الحبيبات يكون ٥٢٫٤ ٪ بالنسبة إلى بقية الانواع الاخرى التى جمعت . يتكون هذا الصخر من خليط من فتات صخور البازلت والانورثوزيت والزجاج فى أرضية من دقيق ناعم من صخر البازلت (مكون من معادن أوجيت والمينيت وقليل من البلاجيوكليز) . وقد تحول هذا الدقيق الناعم إلى لحام زجاجى يضم الفتات الصخرية المهشمة بفعل الصدمات shocks الكبيرة التى تعرض لها القمر .

٢ — البازلت Basalt : ويكون ٣٧٫٤ ٪ فى العينات التى جمعت . يتراوح حجم الحبيبات المكونة لهذا الصخر بين ١ ، ٣٠ ميكرون ، ويتكون الصخر بصفة أساسية من : (١) البيروكسين (حوالى ٥٠ ٪ بالوزن) . وهذا البيروكسين من النوع التيتانى أو تحت الكلسى ؛ (٢) البلاجيوكليز (حوالى ٢٥ ٪) ، ويغلب عليه النوع الانورثيتى [أنورثيت (٩٠ — ١٠٠)] ؛ (٣) الالمنيت (حوالى ٢٠ ٪) . ومن الغريب أن بعض عينات البازلت وجدت غنية بالبوتاش (٠٫٧ ٪) .

٣ — زجاج : ويكون ٥٫١ ٪ فى العينات ، ويتراوح حجم حبيباته من أقل من ٤ ميكرون إلى أكثر من ٣ سم ، ويختلف شكل حبيباته من حادة الزوايا إلى كروية كاملة ، ولونها يتدرج من اللون البنى أو البرتقالى الاصفر إلى عديمة اللون . وقد يكون بها فقاقيع أو تخلو منها . كما يكون الزجاج فى بعض الاحيان

غير متجانس ، ويبدو أن هذا الزجاج قد تكون بصفة أساسية نتيجة للصدمات ذات السرعة الفائقة (للنيازك) والتى تسهم فى العمليات المستمرة على سطح القمر .

٤ — صخور أنورثوزيتية : وتكون ٦ر٣ ٪ فى العينات . يتراوح تركيبها بين انورثوزيت (بلاجيوكليز كلسى) إلى جابرو أنورثوزيتى (بلاجيوكليز كلسى مع أوليفين وبيروكسين أحادى الميل) .

٥ — معادن وصخور أخرى : تكون ٥ر١ ٪ (من بينها أقل من ١ر٠ ٪ ركام نيزكى (meteorttic debris) .

والفكرة السائدة الآن عن تصور لنموذج تركيب القمر أنه يتكون من قشرة من الانورثوزيت سمكها حوالى ٢٥ كيلومترا — تكونت نتيجة لعملية التجزئة أو التفارق المجمائى — عائمة على صخور الجابرو الاعلى كثافة . وفى الازمنة السابقة تكونت فى قشرة القمر ثقوب ، نتيجة لارتطامات النيازك والكويكبات الضخمة ، وتفجرت من هذه الثقوب الحمم البازلتية لتملأ المنخفضات بالحمم .

السؤال الذى لم يجد جواباً حتى الآن هو كيف نشأ القمر ؟ هل كان نتيجة مادة كوكبية وقعت فى أسر Capture جاذبية الارض ، وأصبحت تابعة لها . أم أن القمر كان جزءاً من الارض ثم انشطر عنها ... أم أن القمر يمثل اجساما تلاحمت على هذا البعد من الارض ، وازدادت حجما لتكون القمر ، أم أن هناك نشأة أخرى لم يتوصل إليها الباحثون حتى الآن ؟ إن هذه سمة البحث العلمى ... البحث عن الحقيقة . قبل عام ١٩٦٩ لم يكن هناك جيولوجى رأى بعينه أو لمس بيديه عينة من صخور القمر ولكن كانت هناك بعض المعلومات والمعرفة عن القمر . وبعد عام ١٩٦٩ زادت المعرفة وتضاعفت ، وهكذا يتقدم البحث العلمى ليضيف إلى البشرية كل يوم جزءا جديدا من المعرفة تكشف عن أسرار هذا الكون . هذه المعرفة التى لن تقف عند حد أبدا . وما معرفتنا الحالية إلا قطرة من بحر . « وما أوتيتم من العلم إلا قليلا » صدق الله العظيم .

الجزء الثانى

وصف المعادن الشائعة

الباب التاسع

وصف المعادن الشائعة

تمهيد :

انتهينا الآن من دراسة المعلومات الاساسية عن المعادن : الخواص البلورية، الخواص الفيزيائية ، الخواص الكيميائية ، نشأة المعادن وتكوينها ، والحالات المختلفة التي توجد عليها في الطبيعة . وفي الصفحات التالية سوف نصف ما يقرب من ١٠٠ معدن ، وهذا العدد قليل جداً بالنسبة لعدد المعادن التي وصفها جيولوجيو المعادن والتي تقرب من ٢٠٠٠ معدن . وتشمل هذه المعادن المائة جميع المعادن الشائعة وتلك التي لها قيمة اقتصادية .

وسنقدم في وصف كل معدن أولا خواصه البلورية والكيمائية والفيزيائية ثم تلك الخواص والإختبارات التي تساعد في تمييز المعدن وتفرقته عن المعادن الاخرى ، ويلي ذلك نبذة عن وجود المعدن في الطبيعة والمعادن التي تصاحبه ، وكذلك أسماء المناطق التي يوجد بها المعدن بكميات وافرة ، ثم فائدة المعدن ، وفي بعض الاحيان كيف اشتق اسم المعدن . وعلى ذلك سنتناول في وصف كل معدن شائع الوجود هذه المعلومات بالترتيب الآتي :

١ — الخواص البلورية	٦ — التحلل
٢ — الخواص الفيزيائية	٧ — الوجود في الطبيعة
٣ — التركيب الكيميائي	٨ — الفائدة
٤ — الإختبارات	٩ — الإسم
٥ — الخواص المميزة	١٠ — الانواع المشابهة

وسنتسلسل في وصف هذه المعادن حسب تصنيفها الكيميائي على أساس الشق الحامضي إلى طوائف كما يلي : —

١ — المعادن العنصرية	٦ — الكربونات ، النيترات ، البورات
٢ — الكبريتيدات	٧ — الكبريتات ، الكرومات
٣ — الأملاح الكبريتية	٨ — التنجستات ، الموليدات
٤ — الاكاسيد	٩ — الفوسفات ، الفندات ، الزرنيخات
٥ — الهاليدات	١٠ — السليكات .

وهذه الطوائف Classes تنقسم فيما بينها إلى مجموعات Groups ثم إلى أنماط Types وهذه تنقسم بدورها إلى أنواع Species وهذه تكون متسلسلات Series وأخيراً قد تنقسم الانواع إلى أصناف Varieties .

المعادن العنصرية

Native Elements

يوجد حوالى عشرون معدنا فى الحالة العنصرية وذلك بالإضافة إلى الغازات الجوية . ويمكن تصنيف هذه المعادن العنصرية إلى مجموعتين: (١)الفلزات ،(٢) اللافلزات ؛ وتوجد مجموعة ثالثة تضم أشباه الفلزات . أما المعادن الفلزية فتشمل الذهب والفضة والنحاس والبلاتين والحديد والزئبق والرصاص والبالليديوم والإريديوم والأوزميوم والنانتالوم والقصدير. أما المعادن العنصرية شبه الفلزية فتشمل الزرنيخ والأنتيمون والبزموت وهذه تكون مجموعة بمفردها ، إذ أن بلوراتها المعينية الأوجه تتقارب جداً فى قيمة زواياها بين الوجهية . أما أهم المعادن العنصرية اللافلزية فهى الكربون بشكليه الالماس والجرافيت ،والكبريت والسيلينوم والتيلوريوم ؛ وسوف نصف المعادن التالية :

المعادن العنصرية الفلزيه : Native Metals

الذهب (Au) ، المكعب . الفضة (Ag)، المكعب .

النحاس (Cu) ، المكعب . البلاتين (Pt) ، المكعب .

المعادن العنصرية اللافلزية : Native Nonmetals

الكبريت (S) ، المعينى القائم والميل الواحد .

الألماس (C) ، المكعب . الجرافيت (C) ، السداسى .

المعادن العنصرية الفلزية

تضم معادن الذهب والفضة والنحاس والبلاتين .

الذهب (Au)

يتبلور الذهب فى فصيلة المكعب ، النظام الكامل التماثل (سداسى الثمانى الأوجه Hexoctahedral) . والشكل الغالب على البلورات هو ثمانى الأوجه . وقد تكون البلورات فى هيئة مفلطحة أو شجرية متشابكة . ويوجد المعدن غالباً فى هيئـــة صفائح غير منتظمة الشكل أو قشور أو كتل . الصلادة = ٢ ½ — ٣ ، الوزن النوعى = ١٥,٦ — ١٩,٣ . قابل للسحب والطرق . ولا يوجد انفصام ومكسره مسنن . اللون أصفر ذهبى فاقع أو فاتح تبعاً لكمية الفضه المختلطة مع المعدن .

يتركب المعدن كيميائيا من عنصر الذهب ولو أنه غالباً يحتوى على كميات متفاوتة من الفضة (قد تصل إلى ٤٠ ٪) ، وكذلك يحتوى على الحديد والنحاس والبزموث . . الخ . ويعرف الذهب الذى يحتوى على كميات عالية من الفضة (من ٢٠ إلى ٤٠ ٪) بإسم الاليكتروم . ينصهر المعدن بسهولة . درجة الانصهار ٣ (١٠٦٣°م) ولا يذوب فى الأحماض المختلفة ولكنه يذوب فى الماء الملكى (مخلوط حمضى الهيدروكلوريك والنتريك) .

يتميز المعدن عن بعض المعادن الكبريتيدية المشابهة (البيريت والكالكوبيريت) وعن الميكا الصفائحية ذات البريق الأصفر بواسطة قابليته للطرق ووزنه النوعى العالى وعدم قابليته للذوبان فى الأحماض . الذهب ولو أنه عنصر نادر إلاأنه يوجد منتشرا فى الطبيعة بكميات ضئيلة . ويوجد الذهب فى الطبيعة على حالتين : (١) فى موضعه (رواسب أولية) . (٢) فى التجمعات placers (رواسب منقولة) .

أما الرواسب الموضعية (الأولية) فتشمل الوجود فى عروق الكوارتز ، وهى عروق مائية حارة — أهمها العالية الحرارة ولو أنه يوجد فى الأنواع الاخرى — ذات أصل نارى حمضى . ويوجد مصاحباً الذهب فى هذه العروق معدن البيريت بصفة شائعة . وكذلك توجد معادن أخرى تشمل كالكوبيريت، جالينا ، ستبنيت ، تتراهيدريت ، سفاليريت ، أرسينوبيريت ، تورمالين ،

مولبدنيت ، وبعض هذه المعادن قد يحتوى على الذهب الذى يوجد مختلطاً بها وليس فى حالة اتحاد كيميائى . وتتحلل هذه المعادن بسهولة عند تعرضها للعوامل الجوية على السطح الامر الذى يؤدى إلى انطلاق الذهب وتجمعه فى الرواسب السطحية الناتجة من التحلل والتفتت وبذلك يسهل استخلاصه. والذهب الموجود فى العروق المختلفة يكون فى هيئة دقيقة جداً لا يرى بالعين المجردة ولكن مثل هذا الذهب يمكن استخلاصه بواسطة الطرق الكيميائية ، والصخر الذى يحتوى على ذهب قيمته حوالى ٤٥ قرشاً فى الطن الواحد يمكن استغلاله اقتصاديا. فإذا علمنا أن قيمة أوقية الذهب فى الوقت الحاضر حوالى ٥٠ جنها فإن نسبة الذهب الموجودة فى الطن من الصخر تقدر بأقل من ٠٠٠١ر٠ ٪ .

وعندما تتحلل العروق الحاملة للذهب بالعوامل الجوية وتتفتت فإن الذهب ينطلق إلى الرواسب السطحية ، وقد يبقى فى التربة الموضعية بالقرب من مصدره أو ينتقل بواسطة السيول والانهار ليترسب على شواطئها مكونا التجمعات النهرية Stream placers . ونظراً لوزنه النوعى العالى فإن الذهب ينفصل عن المعادن الخفيفة الاخرى المكونة للرمال والحصى . وينتج عن ذلك أن يتجمع الذهب ويتركز عند النتوءات التى تعترض مجرى النهر أو السيل أو فى الفجوات فى قاع مجرى النهر، وتتكون بذلك رواسب الذهب المعروفة بإسم رواسب التجمعات. ويوجد الذهب فى هذه الرواسب فى هيئة حبيبات مستديرة أو مفلطحة . أما الذهب الناعم جداً فإنه قد ينتقل مسافات طويلة بواسطة الانهار ، ويستخلص الذهب من مثل هذه الرواسب بواسطة عملية غسيل panning ، حيث يغسل التراب المحتوى على الذهب فى الماء الجارى فيترسب الذهب إلى القاع بسرعة فى حين تطفو الاتربة والمعادن الخفيفة على السطح أو تكون معلقة وتفصل عن الذهب.

توجد العروق الحاملة للذهب فى الاماكن الهامة الآتية: ولايات كاليفورنيا ونيفادا وداكوتا الجنوبية وألاسكا بالولايات المتحدة الامريكية ومنطقة الراند The Rand فى الترنسفال باتحاد جنوب افريقيا ، وغرب استراليا ، وجبال الاورال ، وإقليم أونتاريو بكندا . أما رواسب التجمعات فتوجد فى ولايات كاليفورنيا وكولورادو وألاسكا ، وفى أستراليا وسيبريا . تنتج منطقة الراند بجنوب أفريقيا (بالقرب من جوها نسبرج) مايقرب من ٤٠٪ من إنتاج العالم الذهب . ويوجد الذهب فى هذه المنطقة الغنية منتشرا فى طبقة من صخر

الكونجلوميرات التى تميل ميلا حادا وتمتد مسافة ٩٠ كيلو مترا فى الاتجاه الشرقى الغربى .

أما فى مصر فيعتبر الذهب أكثر المعادن انتشارا فى الصحراء الشرقية حيث يوجد فى حوالى ٥٠ منطقة ، وقد فتح قدماء المصريين المناجم فى معظمها واستخلصوا منها الذهب إلى درجة كبيرة . ويمكن تقسيم هذه الأماكن حسب مكان وجودها فى الصحراء الشرقية إلى ثلاثة أقسام هى : —

(١) الجزء الشمالى الأوسط : ويشمل مناجم مختلفة أهمها أبوجريدة وسمنة وعطا الله وأم عش والفواخير ، وهذه يمكن الوصول إليها من النيل عن طريق قنا — القصير . (٢) الجزء المتوسط الأوسط : ويشمل مناجم أبو دباب وزيدان وكريم وأم الروس . (٣) الجزء الجنوبى الأوسط : ويشمل مناجم البرامية ودنجاش وحمش وحنجلية والسكرى وعتود وكردومان . وهذه يمكن الوصول إليها عن طريق ادفو — مرسى علم ، والأربعة الأخيرة قريبة من البحر الأحمر .

ويستخلص الذهب من العروق الحاملة له بتكسير وطحن الصخر أولا فى الطواحين المختلفة ، ثم تمرير المسحوق المطحون فى تيار ماء على ألواح من النحاس المغطاة بالزئبق ، فيلتقط الأخير الذهب ويكون معه ملغم Amalgam ، ويمكن فصل الذهب منه بالتقطير . أما إذا كان الخام يحتوى على كميات كبيرة من معادن الكبريتيدات فتستعمل طرق الكلورين أو السيانيد لاستخلاص الذهب . وفى الطريقة الأولى يحمص الخام ثم يتفاعل مع غاز الكلور الذى يكون مركب مع الذهب قابل للذوبان . أما فى طريقة السيانيد فإن الخام المطحون يعالج بمحاليل سيانيد الصوديوم أو البوتاسيوم وينتج عن هذا التفاعل تكوين سيانيد الذهب المزدوج الذى يذوب فى الماء . وفى كلتا هاتين الحالتين يستخلص الذهب من المحلول إما بواسطة التحليل الكهربائى أو بواسطة تراب الزنك . وهذه الطرق تمكن من استغلال الخام الذى يحتوى على ٠٫٠٠٠١ ٪ ذهب فى الطن [أى ماقيمته ٤٥ قرشا (تعادل دولار) فى الطن] استغلالا مربحا .

يستعمل الذهب بكميات كبيرة فى صناعة الحلى والعملات الذهبية وتستنفد صناعة الأسنان وبعض الأجهزة العلمية كميات صغيرة .

الفضة (Ag)

تتبلور الفضة في فصيلة المكعب ، نظام سداسي الثماني الأوجه . البلورات نادرة وغير كاملة ،وتكثر المجموعات الشجرية والمتشابكة ،ويوجد المعدن عادة في هيئة كتل غير منتظمة أو صفائح أو قشور أو في هيئة أسلاك رفيعة أو سميكة. الصلادة = ٢½ — ٣ ، الوزن النوعي ١٠٫٥ عندما يكون المعدن نقيا ، ١٠ - ١٢ إذا كان المعدن غير نقي . المكسر مسنن . قابل للطرق والسحب. البريق فلزي . اللون والخدش لونهما أبيض فضي ، ولكن اللون يكون عادة بنيا أو أسود رصاصياً نتيجة للصدأ .

توجد رواسب الفضة بكميات كبيرة في العروق المائية الحارة . وهناك ثلاثة أنواع من هذه العروق : (١) عروق تحوى الفضة العنصرية مع الكبريتيدات ومعادن الفضة الاخرى ، (٢) عروق تحوى الفضة مع معادن الكوبالت والنيكل : (٣) عروق تحوى الفضة مع خام اليورانيوم (يوارنينيت UO_2).

يوجد المعدن في النرويج وألمانيا (فرايبرج) والمكسيك وشيلي وبيرو وبوليفيا وفي الأقاليم الشمالية من كندا وبعض مناطق الولايات الامريكية المتحده . وتستخدم الفضة في صناعة الجوهرات والحلي والعملة الفضيه ، وكذلك في صناعة بعض الاجهزة الفيزيائية والكيميائية والطبية وأفلام التصوير.

النحاس (Cu)

يتبلور معدن النحاس في فصيلة المكعب ، نظام سداسي الثماني الأوجه . توجد على البلورات أشكال رباعي السداسي الاوجه وكذلك المكعب والاثنى عشر وجها معينا وثماني الاوجه . المجموعات المتبلورة في هيئة شجرية أو متفرعة وعادة يوجد المعدن في هيئة كتل غير منتظمة أو صفائح أو قشور ، وفي بعض الأحيان يوجد في هيئة أسلاك . الصلادة = ٢½ - ٣ الوزن النوعي = ٨٫٩ . قابل للسحب والطرق . المكسر مسنن . اللون أصفر نحاسي على السطح الحديث ولكنه يميل إلى السواد ويصبح البريق معتما على السطح الصدىء .

يوجد المعدن العنصري بكميات صغيرة في العروق المائية الحارة وأيضا كمعدن

المعدن عادة فى المنطقة السطحية الاكسيدية ، ويوجد معه فى هذه الحالة معادن كوبريت (Cu_2O) . ملاكيت ، أزوريت (كربونات النحاس القاعدية) .

تعتبر شبه جزيرة كيويناو (Keweenaw) فى شمال ولاية ميشيجان بأمريكا أهم منطقة فى العالم يوجد بها معدن النحاس العنصرى حيث يوجد النحاس فى هيئة عروق تقطع صخور بركانية وكونجلوميرات ، كما أن النحاس يوجد فى هيئة مادة لاحمه بين حبيبات الكونجلوميرات ويوجد مع النحاس معادن داتوليت، إبيدوت ، فضة ، أنالسيت ومعادن زيوليت أخرى ، وقد كانت هذه المنطقة من المناطق الهامة لسنوات عديدة فى إنتاج النحاس . فقد وصل الإنتاج السنوى فى بعض الاوقات إلى ١٧٥ مليون رطل نحاس .

يستخدم النحاس بكميات كبيرة فى الصناعة فتستهلك كميات كبيرة منه فى صناعة الاسلاك النحاسية والمسامير والصفائح النحاسية والنحاس الاصفر والبرونز والاجهزة اللاسلكية والكهربائية والذخائر الحربية . وكذلك فى صناعة العملة والاغراض الكيميائية ، ويقال أنه يوجد أكثر من ٦٠٠ استعمالا مختلفا لاغنى للنحاس عنها .

البلاتين (Pt)

يتبلور معدن البلاتين فى فصيلة المكعب ، نظام سداسى الثمانى الاوجه . البلورات مكعبة ولكنها نادرة ، يوجد المعدن غالبا فى هيئة قشور أو حبيبات أو كتل غير منتظمة . الصلادة = ٤ — ٤ر٥ (تعتبر عالية بالنسبة لفلز) . الوزن النوعى = ٤ر٢١ عندما يكون نقيا ، ولكن عادة يتراوح بين ١٤-١٩ لوجود شوائب . معتم قابل للطرق والسحب . اللون أبيض فضى أو رصاصى . بريق ناصع . ربما يكون مغناطيسيا إذا كان يحتوى على كمية كبيرة من الحديد التركيب الكيميائى : عنصر البلاتين ، ولكنه عادة يحتوى على الحديد (تبلغ نسبته ٥ر١٩ ٪) وكميات بسيطة من الاريديوم والروديوم والاوزميوم والنحاس وفى بعض الاحيان الذهب .

يوجد البلاتين فى معظم الحالات فى الهيئة العنصرية إذ لا يوجد غير معدن واحد نادر الوجود (سبيريليت Sperrylite) يتركب من البلاتين والزرنيخ

ويوجد البلاتين فى الرواسب الاولية فى الصخور فوق القاعدية وخصوصا صخر الدونيت Dunite حيث يوجد مع معادن الاوليفين والكروميت والبيروكسين والماجنتيت . ولكن المعدن يوجد بكميات إقتصادية فى الرواسب الثانوية المعروفة بإسم رواسب التجمعات الناتجة من تفتت وتحلل الصخور الأولية الحاملة للبلاتين والتى تتجمع بالقرب من مصادرها (البلاتين وزنه النوعى كبير) . ومن أمثلة رواسب التجمعات الرواسب الموجودة فى كولومبيا بجنوب أمريكا ، والإتحاد السوفييتى (جبال الاورال) ، وكندا (التى تعتبر أكبر منتج لهذا المعدن الآن) .

يستعمل البلاتين بكميات كبيرة كعامل مساعد فى صناعة أحماض الكبريتيك والخليك والنيتريك . وكذلك فى صناعة الاجهزة الكيميائية والفيزيائية والكهربائية وفى صناعة المجوهرات والاسنان والساعات غير المغناطيسية وأدوات الجراحة .

المعادن العنصرية اللافلزية

تضم هذه المجموعة معادن الكبريت والالماس والجرافيت وكلها معادن ذات قيمة كبيرة فى التجارة والصناعة .

الكبريت (S)

يتبلور الكبريت فى فصيلة المعينى القائم ، نظام الهرم المنعكس . البلورات فى هيئة هرمية ، يوجد عادة فى هيئة كتلية غير منتظمة وكذلك فى مجموعات كلوية ، استلاكتيتية ، ترابية . ويوجد الكبريت فى ثلاثة أشكال بلورية : النوع الشائع الموجود فى الطبيعة هو المعينى القائم ، أما الشكلان الآخران فيتبعان فصيلة الميل الواحد ويندر وجودهما كمعادن . الصلادة = ١,٥ — ٢,٥ . الوزن النوعى = ٢,٠٥ إلى ٢,٠٩ . المكسر محارى أو غير مستو . قابل للكسر . البريق صمغى أو راتنجى . اللون أصفر كبريتى ولكنه قد يكون أصفر مائلا إلى الخضرة أو الرمادى أو الأحمر حسب الشوائب الموجودة . شفاف إلى نصف شفاف . موصل ردىء للحرارة . حتى إذا أمسكنا البلورة باليد وقربناها من الأذن فاننا نسمع « قرقعة » نتيجة لتمدد السطح الخارجى للبلورة الذى سخن باليدين بينما الجزء الداخل — نتيجة للتوصيل الردىء للحرارة — لايزال بارداً ولم يتأثر .

التركيب الكيميائى عبارة عن عنصر الكبريت ، ولكن قد توجد شوائب من مواد طينية وأسفلتية . وقد تحتوى بعض أصناف الكبريت على عنصر السيلينيوم .

الكبريت سهل الانصهار ، درجة الانصهار ١ (١١٢,٧°م) ويحترق المعدن بلهب أزرق وينتج غاز ثانى أكسيد الكبريت . غير قابل للذوبان فى الماء أو الأحماض ولكنه يذوب فى ثانى كبريتيد الكربون . يتميز المعدن بلونه الأصفر وسهولة احتراقه . نظراً لعدم وجود إنفصام به فإنه يتميز بسهولة عن معدن أوربيمنت (كبريتيد الزرنيخيك) .

يوجد الكبريت بكميات كبيرة فى الصخور الرسوبية وينتج عادة من اختزال المعادن الكبريتاتية مثل الجبس . ويوجد المعدن مختلطا مع معادن سلستيت والجبس وأراجونيت وكالسيت ، كما توجد رواسب الكبريت حول فوهات البراكين حيث ترسب المعدن من الغازات المتسامية والصاعدة من المداخن البركانية . وقد يوجد الكبريت نتيجة لنشاط البكتريا الكبريتية . أهم مناطق إنتاج الكبريت هى ولايات لويزيانا وتكساس بأمريكا . ويستخرج الكبريت من هذه الرواسب بطريقة فراش Frasch method حيث يدفع الماء فوق الساخن Superheated (درجة ١٦٠°م تقريبا) والهواء المضغوط إلى طبقات الكبريت بواسطة الأنابيب فينصهر الكبريت ويسحب إلى السطح ثم يترك ليبرد ويتجمد فى أحواض خاصة . وتبلغ درجة نقاوة الكبريت الناتج ٩٩,٥٪ . ويوجد الكبريت أيضاً فى جزيرة صقلية وفى المناطق البركانية مثل فيزوف واتنا وأيسلنده واليابان وهاواى . توجد رواسب الكبريت فى مصر مختلطة مع رواسب الجبس والانهيدريت التابعة لعصر الميوسين والمنتشرة على طول ساحل البحر الاحمر ، وأهم هذه المناطق هى منطقة جمسة فى الجزء الشمالى من الصحراء الشرقية بالقرب من الغردقة ، ومنطقة رنجة فى الجزء الجنوبى من الصحراء الشرقية . وفى كلتا المنطقتين يوجد المعدن فى كتل عدسيه الشكل أو شريطية فى هيئة بلورات صغيرة أو مجموعات بلورية عنقودية أو ككتل . .

يستخدم الكبريت فى صناعة حامض الكبريتيك والثقاب ومسحوق البارود والأسمدة الكيميائية والكاوتشوك وفى الأغراض الطبية والأسمنت والعوازل

الحرارية والكهربائية وتبييض الحرير والقش والمواد الصوفية وكذلك فى عمليات تحضير لب الخشب اللازم لصناعة الورق .

الألماس (C)

يتبلور الألماس فى فصيلة المكعب، نظام سداسى الثمانى الأوجه . البلورات فى العادة ثمانية الأوجه ولكن توجد بلورات كثيرة مفلطحة أو طويلة الهيئة . بعض الأوجه البلورية قد تكون منحنية أو ذات حفر . يندر وجوده فى هيئة كتلية . بعض البلورات توأمية (قانون سبينيل) . الصلادة = ١٠ (أصلد مادة معروفة) . الوزن النوعى = ٣,٥ . انفصام كامل {١١١} ، {١̅١١} . البريق ألماسى ولكن البلورات غير المصقولة لها بريق شحمى مميز . وتعزى الألوان النارية « Fire » ، التى تميز الألماس وتجعل منه حجراً كريماً إلى معامل إنكساره العالى ٢,٤٢ وإلى خاصية التفرق الضوئى القوية strong dispersion . اللون عادة أصفر باهت أو شفاف ، ولكن توجد بعض البلورات لها ألوان باهتة إما حمراء أو برتقالية أو خضراء أو زرقاء أو بنية . ويطلق إسم « كربونادو » Carbonado أو « الكربون » على النوع الأسود من الألماس الحبيبى الخشن السطح (يستعمل فى الصناعة) . التركيب الكيميائى عبارة عن عنصر الكربون النقى . لايذوب المعدن فى الأحماض أو القلويات . ولكن عند درجات الحرارة العاليه وبوجود الأكسجين يحترق المعدن إلى غاز ثانى أكسيد الكربون دون أن يترك أى رماد . ويتميز الألماس عن المعادن المشابهة له بصلادته العالية وبريقه الألماسى والانفصام الكامل .

يوجد الألماس فى الطبيعة فى الرمال والحصى المكونة للطبقات والشواطىء النهرية حيث يقاوم المعدن عوامل التحلل والتفتت . ويوجد الألماس أيضاً فى أحد أنواع الصخور فوق القاعدية (البيريدوتيت) المعروف باسم كمبرليت Kimberlite (نسبة إلى كمبرلى فى جنوب أفريقيا) .

وهناك أربع دول تنتج تقريباً جميع إنتاج العالم من الألماس ، هذه الدول هى : اتحاد جنوب أفريقيا وزائير والهند والبرازيل . وفى الوقت الحاضر تنتج القارة الافريقية وحدها ما يقرب من ٩٥٪ من إنتاج العالم للماس .

وتعتبر زائير أكبر منتج لهذا المعدن فى العالم الآن حيث يبلغ إنتاجها السنوى وحده ٥٠٪ من الإنتاج العالمى . ولكن معظم الألماس المستخرج من هذه المنطقة (زائير) من النوع الصناعى . أما اتحاد جنوب أفريقيا فيعتبر المنتج الرئيسى لنوع المجوهرات من الألماس .

يستخلص الألماس من الرمال والحصى وكذلك من الصخور التى يوجد بها بعد تكسيرها بواسطة الغسيل ، فترسب المعادن الثقيلة ومن بينها الألماس وتفرز باليد ، ولكن حاليا تستخدم ألواح مطلية بالشحم يمر عليها الماء المعلق به المعادن المختلفة فتلتقط الألواح المشحمة الألماس نظراً لخاصيته الكبيرة فى الالتصاق بالشحم دون سائر المعادن الأخرى .

يستعمل الألماس إما فى (١) الصناعة ، أو (٢) المجوهرات . أما الألماس المستخدم فى الصناعة فغالباً ما يكون ملونا ومليئا بالفواصل ومناطق الضعف وبعض الشوائب ، ولا يصلح فى صناعة المجوهرات . وتستعمل القطع الكبيرة من هذه النوع فى قطع الزجاج ، أما القطع الصغيرة فتستخدم فى طحن وصقل الألماس وغيرها من الأحجار الكريمة الأخرى . كما تستخدم آلات قطع الصخور وثقبها كميات من هذا النوع . أما النوع المستعمل فى المجوهرات فهو الذى يتميز بخواص شفافية اللون . وخلوه من الكسور ، وتفرق الضوء وانكساره به عالى ، لدرجة أن ألوان الطيف ترى فى الألماسة كوهج النار . وتبدو هذه البلورات الكريمة عادة « بيضاء بزرقة خفيفة » . أما وجود لون القش الأصفر فى بعض الألماسات فإنه يقلل من قيمتها . أما الألماسات ذات الألوان العميقة من الأصفر أو الأحمر أو الأخضر أو الأزرق فإن قيمتها كبيرة جدا . وتتوقف قيمة الجوهرة الألماسية على لونها ودرجة نقاوتها وحجمها والمهارة ونوع الأوجه التى صقلت على سطحها . ويوزن الألماس بالقيراط Carat (يساوى ٢٠٠ ملليجرام أو ٠,٢ من الجرام وتبلغ فى قطرها فى المتوسط ٦ ملليمترات وعمقها ٤ ملليمترات) وأكبر ألماسة عثر عليها فى مناجم الترنسفال بجنوب أفريقيا عام ١٩٠٥ بلغ وزنها ٣١٠٦ قيراط (٦٢١,٢ جراما) وسميت باسم « الرئيس » أو « نجمة إفريقيا » وقد قطعت هذه الألماسة إلى تسع ألماسات كبيرة ، ٩٦ ألماسة صغيرة .

وصقل الأوجه الصناعية على جواهر الألماس فن يحتاج إلى مهارة وخبرة

كبيرة نظراً لأن قيمة الألماسة تتوقف على أنواع هذه الأوجه ودرجة انعكاسها وكسرها لأشعة الضوء وإنتاج البريق المتوهج . وهناك أسماء كثيرة للأنواع المختلفة من الألماسات المقطوعة، منها المربع والمركيز والمثلث والترابيز والخماسى ونصف القمر . وتعتبر مدينة أنتفيرين Antwerpen (انتفرب ، انفرس) بيلجيكا المركز العالمى فى الوقت الحاضر لصناعة الألماس حيث يشتغل فى هذه الصناعة حوالى ٢٠٫٠٠٠ عامل (أى مايساوى ثلثى عمال الألماس فى العالم) .

الجرافيت (C)

يتبلور الجرافيت فى فصيلة السداسى. نظام الهرم المنعكس السداسى المزدوج البلورات مفلطحة أو صفائحية والأوجه التابعة للسطوح القاعدى، ظاهرة ويندر وجود أوجه بلورية أخرى، غالباً فى هيئة قشور أو حبيبات .الصلادة=١—٢ (يترك أثراً أسود على الأصبع أو الورقة البيضاء) . الوزن النوعى = ٢٫٢ إنفصام كامل موازى للسطوح القاعدى { ١٠٠٠ } . البريق فلزى وفى بعض الأحيان أرضى معتم . اللون أسود إلى رصاصى فاتح . الخدش أسود . الملمس شحمى. القشور قابلة للانثناء ولكنها ليست مرنة .

التركيب الكيميائى : كربون ، ولكن هناك بعض الأنواع يوجد بها شوائب من أكاسيد الحديد والطين ومعادن أخرى . لاينصهر الجرافيت ولكنه يحترق فى درجات الحرارة العالية ويعطى غاز ثانى أكسيد الكربون ، لايتأثر المعدن بالأحماض .

يتميز الجرافيت بلونه وصلادته المنخفضة وهيئته الصفائحية . ويفرق بينه وبين معدن المولبدينيت الذى يشبهه فى اللون والبريق فى أن الجرافيت سالب فى تفاعلاته الكيميائية أما المولبدينيت فيعطى أملاح المولبدنوم ، كذلك يعطى خدشاً يميل إلى الخضرة .

يوجد الجرافيت عادة فى الصخور المتحولة مثل الصخر الجيرى المتبلور والشست والنيس . وقد يوجد فى هيئة كتل مركزة أو قشور منتشرة فى الصخر ولكنها تكون جزءاً كبيراً منه ،وقد نتج هذا الجرافيت من تحول عنصر الكربون أثناء عمليات التحول . وقد ينتج الجرافيت نتيجة التحول الحرارى الشديد لرواسب

الفحم. وكذلك قد يوجد الجرافيت فى بعض العروق المائية الحارة ومصدره فى هذه الحالة الصخور المتحولة على جانبى العرق. وتحتوى أنواع قليلة من الصخور النارية على معدن الجرافيت، وقد وجد المعدن أيضاً فى بعض الشهب.

توجد أكبر المناطق إنتاجاً للجرافيت فى جزيرة سيلان حيث توجد كتل قشرية من الجرافيت فى العروق الموجودة فى النيس والصخر الجيرى. كذلك توجد رواسب كبيرة من المعدن فى النمسا وإيطاليا والهند والمكسيك وجزيرة مدغشقر وبعض الولايات الأمريكية. وفى مصر يوجد الجرافيت فى صخور الشست المعروفة بإسم الشست الجرافيتى فى هيئة كتل عدسية الشكل فى الصخور المتحولة التابعة لحقب البريكامبرى. وأهم هذه المناطق هى :- (١) وادى أم خيج (منطقة وادى سترا)، (٢) وادى المياه (منطقة بنت أبو جوريا)، (٣) وادى حمش، وكلها بالصحراء الشرقية.

يستخدم الجرافيت فى صناعة البوتقات الحرارية المستعملة فى صناعة الصلب والنحاس الأصفر والبرونز. وكذلك يستعمل المعدن فى طلاء أفران المطابخ وبطانات أفران الصهر وصناعة أقلام الرصاص والبويات والشحومات والأقطاب الكهربائية.

المعادن الكبريتيدية

تعتبر هذه المجموعة من أهم المجموعات المعدنية إذ أنها تضم أغلب الخامات المعدنية، وتشمل المعادن التالية :

Ag_2S	مكعب	Argentite	أرجنتيت
Cu_2S	معينى قائم	Chalcocite	كالكوسيت
Cu_5FeS_4	مكعب	Bornite	بورنيت
PbS	مكعب	Galena	جالينا
ZnS	مكعب	Spalerite	سفاليريت
$CuFeS_2$	رباعى	Chalcopyrite	كالكوبيريت
FeS	سداسى	Pyrrhotite	بيروتيت
HgS	سداسى	Cinnabar	سنبار
AsS	الميل الواحد	Realgar	ريالجار
As_2S_3	الميل الواحد	Orpiment	أوربيمنت
Sb_2S_3	معينى قائم	Stibnite	ستبنيت
FeS_2	مكعب	Pyrite	بيريت
FeS_2	معينى قائم	Marcasite	مركزيت
$FeAsS$	الميل الواحد	Arsenopyrite	أرسينوبيريت
MoS_2	سداسى	Molybdenite	موليبدينيت

تتميز هذه الكبريتيدات بصفة عامة بالخواص الآتية : ثقيلة الوزن ، معتمة لها مخدش أسود أو ملون ، ومعظمها له بريق فلزى ، وتوجد فى الطبيعة مصاحبة لبعضها البعض فى العروق المائية الحارة وفى رواسب الاحلال .

أرجنتيت (Ag_2S)

يتبلور المعدن فى فصيلة المكعب ، نظام سداسى الثمانى الأوجه . مجموعات البلورات فى هيئة متفرعة أو متشابكة . يوجد المعدن غالبا فى هيئة كتلية . الصلادة = ٢ — ٢,٥ . الوزن النوعى = ٧,٣ . قابل للتقشير والقطع بالسكين مثل فلز الرصاص . البريق فلزى . اللون والمخدش رصاصى أسود ، المخدش لامع . المعدن معتم لونه ناصع على السطح الحديث ولكنه يتحول إلى أسود نتيجة لتكوين الكبريتيد الترابى . التركيب الكيميائى : كبريتيد الفضة (Ag_2S) ، ٨٧,١ ٪ فضة ، ١٢,٩ ٪ كبريت .

يوجد الأرجنتيت كمعدن أولى فى العروق المائية الحارة مجتمعا مع الفضة العنصرية والمعادن الفضية الأخرى والجالينا وسفاليريت . وقد يوجد المعدن داخل الجالينا الفضية فى هيئة دقائق مجهرية .

يعتبر معدن أرجنتيت خاما هاما للفضة ، ويوجد فى مناجم الفضة فى المكسيك وبيرو وشيلى وبوليفيا . وفى أوروبا فى منطقة ساكسونيا بألمانيا ، وبوهيميا فى تشيكوسلوفاكيا ، وفى النرويج ، كما يوجد فى ولايات نيفادا وكولورادو ومونتانا بالولايات المتحدة الأمريكية .

كالكوسيت (Cu_2S)

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم . نظام الهرم المنعكس (إذا تبلور المعدن فى درجة حرارة أقل من ٩١° م كانت البلورات معينية قائمة ، أما فوق ٩١° م فالبلورات مكعبية) . يندر وجود البلورات التى تكون فى العادة صغيرة ذات مظهر سداسى . يوجد غالباً فى هيئة دقيقة الحبيبات أو كتلية . الصلادة = ٢,٥ — ٣ . الوزن النوعى = ٥,٥ — ٥.٨ . المكسر محارى . البريق فلزى . اللون رصاصى فاتح على السطح الحديث ولكنه يصدأ إلى لون أسود معتم بالتعرض للجو . المخدش أسود رمادى . بعض أنواع المعدن صلادتها منخفضة وتوجد فى هيئة هباب Sooty .

يوجد المعدن في الرواسب الثانوية النشأة Supergene deposits في المناطق الغنية برواسب الكبريتيدات . وقد يوجد المعدن في بعض الحالات في الرواسب الأولية في العروق المائية الحارة مجتمعاً مع معادن كبريتيدية أولية Hypogene أخرى . ويوجد في الولايات المتحدة الأمريكية (مونتانا ، أريزونا ، يوتاه ، نيفادا ، ألاسكا) ؛ كذلك يوجد في أفريقيا الجنوبية الغربية ، وزائير والمكسيك وبيرو وشيلي .

يوجد المعدن في عروق النحاس بشبه جزيرة سيناء وفي رواسب النحاس بوادي حمش بالصحراء الشرقية .

يستعمل المعدن كخام هام للنحاس .

يشبه هذا المعدن معدناً آخر لونه رصاصي فاتح أيضاً إسمه استروميريت Stromeyerite وتركيبه $(AgCu)_2S$ ويوجد في العروق الكبريتيدية التي تحتوى على الفضة .

بورنيت (Cu_5FeS_4)

يتبلور المعدن في فصيلة المكعب ، نظام سداسي الثماني الأوجه . يوجد غالبا في هيئة كتلية . الصلادة = ٣ . الوزن النوعي = ٥٫٠٦ — ٥٫٠٨ البريق فلزي ، اللون برنزي بني على السطح الحديث ولكنه يصدأ بسرعة ويتحول إلى اللون الأرجواني Purple والأزرق وأخيراً إلى لون أسود تقريباً وذلك عند تعرضه للجو . يتحلل المعدن بسهولة إلى معدني كالكوسيت وكوفيللت (CuS).

معدن البورنيت من المعادن النحاسية الشائعة الوجود . ويوجد مصاحبا معادن النحاس الأخرى في الرواسب الأولية Hypogene . وقليلا ما يوجد في الرواسب الثانوية خصوصاً في الأجزاء العليا من العروق حيث تكون غنية بالكبريتيدات النحاسية التي تنتج من تأثير المياه الأرضية (المحتوية على النحاس) على معدن الكالكوبيريت . كما يوجد المعدن منتشراً في هيئة حبيبات دقيقة في الصخور المتحولة بالحرارة وفي الرواسب الإحلالية وفي صخر البجماتيت . وغالبا ما يكون المعدن مختلطا اختلاطا كبيراً بمعادن الكالكوبيريت والكالكوسيت

ولا يعتبر البورنيت من ناحية الكمية خاما هاما للنحاس مثل معادن الكالكوسيت والكالكوبيريت . يوجد معدن البورنيت بكميات كبيرة فى شيلى وبيرو وبوليفيا والمكسيك . وفى مصر يوجد البورنيت مختلطا مع بعض المعادن النحاسية فى عروق الكوارتز الكبريتيدية بوادى حمش بالجزء الجنوبى من الصحراء الشرقية . يستعمل المعدن كخام النحاس إذا وجد بكميات كبيرة .

جالينا (PbS)

يتبلور المعدن فى فصيلة المكعب ، نظام سداسى الثمانى الأوجه ، وأكثر الأشكال انتشاراً على البلورات هو المكعب شكل (١٨٤) .



شكل (١٨٤) بلورات الجالينا

الصلادة = ٥ر٢ . الوزن النوعي = ٤ر٧ — ٦ر٧ الانفصام مكعبى { ٠٠١ } كامل . البريق فلزى ناصع . اللون والخدش أشهب رصاصى .

التركيب الكيميائى عبارة عن كبريتيد الرصاص . رصاص = ٦ر٨٦٪ ، كبريت = ٤ر١٣٪ ويظهر التحليل الكيماوى دائماً وجود الفضة ربما فى هيئة أرجنتيت أو تتراهيدريت مختلطة اختلاطاً كاملا مع الجالينا . وقد يحتوى معدن الجالينا على كميات ضئيلة من السيلينيوم ، الزنك ، الكادميوم ، الأنتيمون ،

البزموت ، والنحاس . درجة الانصهار = ٢ . يختزل المعدن على مكعب الفحم إلى كرات صغيرة من الرصاص مع تكوين راسب دقيق من أكسيد الرصاص ذى اللون الأصفر إلى الابيض . ويتفاعل المعدن مع حامض الكبريتيك المركز مع تكوين كبريتات الرصاص البيضاء .

يتميز معدن الجالينا بأنفصامه الواضح ووزنه النوعى العالى وصلادته المنخفضة ومخدشة الأسود . يتحلل المعدن بالعوامل الجوية المؤكسدة إلى الكبريتات (أنجليزيت) والكربونات (سيروسيت) .

تعتبر الجالينا من المعادن الكبريتيدية الفلزية الشائعة والتى توجد مصاحبة معادن سفاليريت ، مركزيت ، كالكوبيريت ، سيروسيت ، أنجليزيت ، دولوميت ، كالسيت ، كوارتز ، باريت ، فلوريت ، فى العروق المائية الحارة . وفى بعض العروق المائية الحارة الاخرى يكون المعدن مختلطا مع معادن الفضة وبذلك يكون خاما رئيسيا للفضة . وقد توجد الجالينا فى الصخور الجيرية فى هيئة عروق أو مالئة للفراغات المسامية أو نتيجة للاحلال محل الحجر الجيرى . ويصحب الاحلال للحجر الجيرى وتكون رواسب الجالينا تغيير كيميائى للحجر الجيرى نفسه وتحوله إلى الدولوميت . وقد توجد الجالينا فى الصخور المتحولة بالحرارة .

وأهم المناطق التى توجد بها الجالينا : فرايبرج فى سكسونيا ، وجبال الهارز ، ووستفاليا وبوهيميا بأواسط أوروبا ، وكورنول وديربى شير وكمبرلاند بإنجلترا ، ومنطقة بروكن هيل بأستراليا . كذلك يوجد المعدن فى بعض الولايات الامريكية حيث يوجد منتشراً فى هيئة عروق أو جيوب فى الصخور الجيرية فى الولايات الثلاث : ميسورى ، كانساس ، أوكلاهوما ومصاحبا معادن خام الزنك .

توجد الجالينا فى مصر مصاحبة معادن الزنك فى رواسب الزنك والرصاص الكبريتيدية المنتشرة فى الصخور الرسوبية التابعة للفترة المتوسطة من عصر الميوسين والممتدة على شاطئ البحر الاحمر فى المناطق التالية :

(١) زوج البهار ، ١٠ كم جنوب القصير
(٢) أم غيج ، ٥٠ كم جنوب القصير

(٣) جبل العنز ، ٧٣ كم جنوب القصير
(٤) جبل الرصاص ، ١١٥ كم جنوب القصير

أما فى جبل أم سميوكى بالصحراء الشرقية الجنوبية فتوجد الجالينا مصاحبة لمعادن سفاليريت وكالكوبيريت فى العروق المائية الحارة التى يبلغ طولها حوالى ٢٠٥ مترا ، والقاطعة لصخور المنطقة المكونة من الديابيز والبريشيا .

تعتبر الجالينا المصدر الوحيد عمليا لفلز الرصاص ، وخاما هاما بالنسبة للفضة . ويستعمل الرصاص فى صناعة البويات وبعض أنواع الزجاج والمواسير والصفائح وقذائف البنادق والمسدسات والمواد اللاحمة والسبائك . وتستخدم كميات كبيرة من الرصاص فى الوقت الحاضر فى عمل الدروع الواقية من الاشعاعات الذرية والأشعة السينية .

إسم المعدن مشتق من الكلمة اللاتينية "galena" ومعناها خام الرصاص .

سفاليريت (ZnS)

[زنكبلند]

يتبلور المعدن فى فصيلة المكعب ، نظام سداسى الرباعى الأوجه . تحتوى البلورات عادة على أشكال رباعى الاوجه ، المكعب ، الإثنى عشر وجها معينا ، ولكن غالباً ما تكون الباورات معقدة وغير كاملة أو موجودة فى مجموعات كروية . الباورات توأمية عديدة التركيب Polysynthetic ويكثر وجود المعدن فى هيئة كتلية خشنة أو دقيقة الحبيبات وقد تكون هيئة عنقودية أو متماسكة أو خفية التبلور . يوجد شكل بلورى آخر تركيبه كبريتيد الزنك أيضاً يتبلور فى فصيلة السداسى ويعرف بإسم فورتزيت Wurtzite . الصلادة = ٣،٥-٤ الوزن النوعى = ٣،٩ - ٤،١ . الانفصام {١١٠} كامل ولكن المعدن الدقيق لايظهر فيه الانفصام . البريق لا فلزى - صمغى إلى شبه فلزى - وقد يكون ماسى . اللون أبيض عندما يكون نقيا ولكنه يتلون بالوان صفراء أو بنى أو أسود ويصير اللون داكنا بإزدياد نسبة الحديد بالمعدن وقد يكون المعدن احمر اللون أيضاً . شفاف إلى نصف شفاف . المخدش أبيض أو أصفر أو بنى .

التركيب الكيميائى عبارة عن كبريتيد الزنك (ZnS) . الزنك = ٦٧ ٪ ، الكبريت = ٣٣ ٪ ، يحتوى دائما على الحديد . (Zn,Fe)S ، حيث لا تتعدى نسبة وجوده ١٨ ٪ ، وقد يوجد المنجنيز أو الكادميوم بنسبة بسيطة .

سفاليريت النقى معدن غير قابل للانصهار ولكنه ينصهر بصعوبة جداً إذا كان يحتوى على الحديد ، ويعطى المعدن رائحة غاز ثانى أكسيد الكبريت عند تسخينه على مكعب الفحم أو فى الانبوبة المفتوحة . عندما يسخن المعدن مع مخلوط مختزل على مكعب الفحم فإنه يعطى طبقة رقيقة من أكسيد الزنك (صفراء وهى ساخنة وبيضاء وهى باردة) هذه الطبقة لا تتطاير فى اللهب المؤكسد .

يتميز معدن سفاليريت ببريقة الصمغى الواضح وكذلك انفصامه الكامل {١١٠} . وتتميز الانواع السوداء من المعدن بخدشها البنى المائل للاحمرار .

يعتبر سفاليريت أهم خام للزنك وهو معدن شائع يوجد فى الطبيعة مصاحبا معادن الجالينا ، البيريت ، المركزيت ، كالكوبيريت ، سميثسونيت (كربونات الزنك) ، كالسيت ، دولوميت . وغالبا ما يوجد سفاليريت مع الجالينا اللذان يشتركان فى أماكن وجودهما فى الطبيعة ونشأتهما . ويوجد المعدن إما فى العروق المائية الحارة أو فى رواسب إحلالية فى الحجر الجيرى . كما أن هناك بعض الحالات القليلة التى يظهر المعدن فيها فى هيئة عروق فى الصخور النارية أو يظهر فى الصخور المتحولة بالحرارة .

يوجد المعدن فى دول أواسط أوروبا وإنجلترا ، وتعتبر استراليا كندا والمكسيك من أكبر الدول المنتجة لخام الزنك . أما فى الولايات المتحدة الأمريكية فيستخرج الخام بكميات كبيرة من ولايات ميسورى وكانساس وأوكلاهوما . ويوجد المعدن مختلطا مع معادن كالكوبيريت وجالينا فى العروق المائية الحارة فى جبل أم سميوكى بالصحراء الشرقية . كما يوجد المعدن بكميات بسيطة منتشرة فى أماكن مختلفة من الصحراء الشرقية .

يستخدم المعدن ـ الذى يعتبر أهم خام للزنك ـ فى الحصول على الزنك الذى يستعمل فى صناعة الحديد المجلفن والنحاس الأصفر والبطاريات الكهربائية وألواح الزنك والمركبات الكيميائية المختلفة التى تستعمل فى صناعة البويات

وحفظ الخشب والصباغة والطب . ويستخلص عنصر الكادميوم من بعض أنواع سفاليريت .

كالكوبيريت ($CuFeS_2$)

يتبلور المعدن فى فصيلة الرباعى ، نظام الوتد المنعكس Bisphenoidal class ولكن البلورات نادرة ، ويغلب وجود المعدن فى هيئة كتلية . الصلادة = ٣،٥ - ٤،٠ . الوزن النوعى = ٤،١ - ٤،٣ . البريق فلزى . قابل للكسر . اللون أصفر نحاسى ولكنه غالبا ما يكون مغطى بصدأ برونزى متموج الألوان . المخدش أسود مائل إلى الخضرة .

التركيب الكيميائى عبارة عن كبريتيد النحاس والحديد ($CuFeS_2$) ، النحاس = ٣٤،٥ ٪ ، الحديد = ٣٠،٥ ٪ ، الكبريت = ٣٥ ٪ وقد يوجد المعدن مختلطا اختلاطا كاملا بمعدن البيريت ومعادن كبريتيدية أخرى مما يجعل نتيجة التحليل الكيميائى مختلفة قليلا عن النسب المئوية السابقة .

درجة الانصهار = ٢ ويعطى كرة مغناطيسية . ويعطى رائحة غاز ثانى أكسيد الكبريت عند تسخينه على مكعب الفحم أو فى الأنبوبة المفتوحة . ويذوب المعدن المسخن فى حامض الهيدروكلوريك ويلون المحلول اللهب بلون أزرق مخضر دليلا على وجود كلوريد النحاس . يتفاعل بسهولة مع حامض النيتريك معطيا راسبا من الكبريت . وبإضافة الأمونيا بكمية إلى المحلول الناتج يترسب راسب بنى أحمر عبارة عن إيدروكسيد الحديديك ، وعندما يرشح يبدو الراشح ذا لون أزرق (نحاس) .

يتميز معدن كالكوبيريت بلونه الأصفر النحاسى ومخدشه الأسود المائل إلى الخضرة وصلادته المنخفضة . ويمكن تفرقته عن معدن البيريت بصلادته المنخفضة وعن الذهب بكونه قابل للكسر .

يعتبر معدن كالكوبيريت من معادن النحاس الشائعة وواحد من أهم خامات النحاس . ويوجد المعدن منتشراً فى العروق المائية الحارة وخصوصاً مرتفعة الحرارة hypothermal ، حيث يصاحب المعدن معادن البيريت ، البيروتيت ،

سفاليريت ، جالينا ، كوارتز ، كالسيت ، دولوميت ، سيديريت ، ومعادن نحاسية أخرى . يوجد المعدن فى الحالة الأوليـــة ويتحلل بالعوامل الجوية المختلفة خصوصاً بالقرب من السطح وينتج عنه كثير من المعادن النحاسية الثانوية التى تشمل الأكسيد والكربونات والكبريتات وقد يظهر الكالكوبيريت أيضاً كمعدن أصلى فى الصخور النارية ، فى عروق البجماتيت ، وفى الصخور المتحولة بالحرارة . وكذلك فى الصخور المتحولة بالضغط والحرارة مثل الشست . وقد يحتوى المعـــدن على الذهب أو الفضة وبذلك يصبح خاما لهذه المعادن . وقد يوجد المعدن مختلطا بكميات كبيرة من البيريت مما يقلل من قيمة الخام كمصدر للنحاس .

يوجد المعدن فى الدول الآتية حيث يستغل كخام للنحاس : انجلترا (كورنوول) السويد (فالون) ، تشيكوسلوفاكيا (شمينتز) ، ألمانيا (ساكسونيا ، فريبورج ، بوهيميا) ، أسبانيا (ريوتنتو) ، جنوب أفريقيا ، شيلى ، تركيا . وفى أمريكا يوجد فى الولايات التالية مختلطا مع معادن نحاسية أخرى بكميات متساوية أو أكبر : مونتانا ، يوتاه ، أريزونا ، تنيسى . . إلخ . ويوجد المعدن فى إقليمى أونتاريو وكويبك بكندا . وفى مصر يوجد المعدن بكميات بسيطة منتشرا فى كثير من عروق الكوارتز . وكذلك فى العروق الكبريتيدية فى جبل أم سميوكى ووادى حمش وأبو صويل بالصحراء الشرقية الجنوبية .

يعتبر الكالكوبيريت من الخامات الهامة للنحاس .

بيروتيت (FeS) (البيريت المغناطيسى)

يتبلور المعدن فى فصيلة السداسى ، نظام الهرم المنعكس السداسى المزدوج البلورات غالباً مفلطحة وفى بعض الأحيان هرمية ، ولكن الهيئة الشائعة هى الكتل الحبيبية أو الصفائحية . الصلادة = ٤ ، الوزن النوعى = ٤,٥٨ . البريق فلزى ، اللون برونزى بنى ، المخدش أسود ، مغناطيسى حيث ينجذب المسحوق عادة إلى المغناطيس .

يوجد المعدن عادة ككتل منعزلة فى الصخور النارية القاعدية مثل الجابرو والبريدوتيت حيث يجتمع المعدن مع البيريت والكالكوبيريت والبنتلانديت

Pentlandite (كبريتيد الحديد والنيكل) والجالينا . ويوجد البيروتيت أيضاً في عروق البجماتيت والعروق المائية الحارة . يوجد المعدن في النرويج والسويد وفنلندة وأواسط أوروبا وفي بعض ولايات أمريكا وفي مناطق سدبوري بأونتاريو بكندا ، ويستعمل المعدن كمصدر لعنصر النيكل وخصوصاً المستخرج من منطقة سدبوري باونتاريو (كندا) .

كوفيلليت (CuS)

يتبلور المعدن في فصيلة السداسي ، نظام الهرم المنعكس السداسي المزدوج يوجد غالبا في هيئة كتلية أو طبقات رقيقة أو حبيبات منتشرة في معادن نحاسية أخرى . الصلادة = ١٫٦ — ٢ . الوزن النوعي = ٤٫٦ — ٤٫٧٦ . الانفصام صفائحي حيث يعطى صفائح مرنة . البريق فلزى ، اللون أزرق بنفسجي أو أغمق . المخدش رصاصي فاتح إلى أسود . قد يبدي عرضا للألوان Iridiscent . معتم .

معدن الكوفيلليت ليس من المعادن الشائعة ، ولكنه يوجد في الرواسب الثانوية التي تحتوي على النحاس ، خصوصاً كطبقات رقيقة في المناطق الغنية بالكبريتيدات ، ويوجد المعدن مع معادن كالكوبيريت ، بورنيت ، إينارجيت حيث ينتج من تحلل هذه المعادن . وقد يوجد الكوفيللت في حالة أولية ولكنها قليلة . يوجد في يوغوسلافيا والنمسا وسردينيا وأمريكا . وفي مصر يوجد المعدن في بعض عروق النحاس في شبه جزيرة سيناء ، وفي بعض العروق الكبريتيدية بوادي حمش بالصحراء الشرقية ، وفي هذه المناطق يوجد المعدن مختلطا مع معادن نحاسية أخرى مثل كالكوبيريت وملاكيت وكوبريت وكالكوسيت وبورنيت . يعتبر المعدن مصدراً بسيطاً للنحاس .

سنبار (HgS)

يتبلور المعدن في فصيلة الثلاثي ، نظام الأوجه شبه المنحرفة Trapezohedral class . البلورات عادة معينة الأوجه . غالباً في هيئة كتلية حبيبية أو ترابية أو قشور أو حبيبات منتشرة في الصخر . الصلادة = ٢٫٥ . الوزن النوعي = ٨٫١ . الانفصام منشوري كامل {١٠١̅٠} . البريق ألماسي عندما يكون المعدن نقيا ولكنه معتم عندما يكون غير نقي . اللون أحمر فاقع عندما يكون نقيا أو أحمر بني (غير نقي) . المخدش أحمر فاقع ، شفاف إلى نصف شفاف .

يعتبر السنبار خاما هاما للزئبق ولكن أماكن وجوده بكميات كبيرة قليلة . يوجد فى هيئة عروق فى الصخور الوسوبية وكذلك كرواسب حول البراكين والينابيع الحارة ، ويوجد مجتمعا مع معادن البيريت والمركزيت وستبنيت ، وكبريتيدات النحاس مع المعادن الأرضية وأوبال وكالسيدونى وكوارتزوباريت وكالسيت وفلوريت . أهم المناطق التى يستخرج منها المعدن توجد فى أسبانيا (منطقة المادن) . إيطاليا (إيدريا) ، بيرو ، الصين . الولايات المتحدة الأمريكية (كاليفورنيا) . والسنبار هو المصدر الوحيد الهام لفلز الزئبق الذى يستخدم بكميات كبيرة فى الصناعة والتجارة .

ريالجر (رهج الغار) [AsS]

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . يوجد المعدن فى هيئة بلورات منشورية قصيرة ومخططة striated . وعادة تكون البلورات حبيبية خشنة أو دقيقة ، وغالبا ماتكون فى هيئة ترابية أو قشرية . الصلادة = ١,٥ — ٢، الوزن النوعى = ٣,٤٨ . الانفصام موازى للمسطوح الجانبى {٠١٠} قابل للقطع والتقشير . البريق صمغى . اللون والخدش أحمر إلى برتقالى . شفاف إلى نصف شفاف .

يوجد معدن ريالجر فى العروق الحاوية على خامات الرصاص والفضة والذهب حيث يجتمع مع معدن الأوربيمنت والمعادن الزرنيخية الأخرى وستبنيت . ويوجد المعدن أيضاً مترسبا حول فوهات البراكين والينابيع الحارة . يوجد المعدن فى المجر وبوهيميا وسكسونيا وسويسرا واليونان وفى بعض الولايات الأمريكية .

يستعمل المعدن فى الصواريخ النارية حيث يعطى ضوءاً أبيضا ناصعاً عند خلطه مع ملح البارود ثم إشعاله ، ويستعاض عن المعدن الآن فى هذه الصناعات باستعمال مركب كبريتيد الزرنيخ الكيميائى . اسم المعدن مشتق من الكلمة العربية « رهج الغار » ومعناها مسحوق المنجم .

أوربيمنت (As_2S_3)

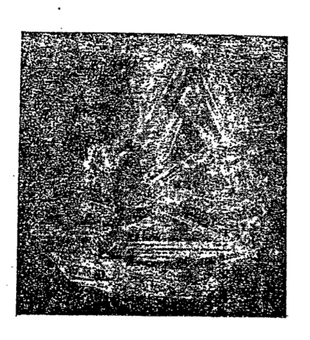
يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد . البلورات صغيرة ومسطحة أو منشورية

قصيرة ولكن عادة يصعب تمييزها. ويوجد المعدن عادة فى هيئة كتل صفائحية أو عمدانية. الصلادة = ١٫٥ — ٢ . الوزن النوعى = ٣٫٤٩ . انفصام كامل وموازى للمسطوح الجانبى {٠١٠}. الصفائح الناتجة من الانفصام سهلة الانثناء والتشكيل ولكنها ليست مرنة. قابل للقطع والتقشير. البريق صمغى أو لؤلؤى على مستويات الانفصام. اللون أصفر ليمونى نصف شفاف.

معدن الأوربيمنت من المعادن النادرة ، ويوجد مع معدن رياجر بصفة دائمة تقريباً حيث يتكون الاثنان تحت ظروف مماثلة يوجد المعدن فى رومانيا وبيرو واليابان وفى بعض الولايات الأمريكية. يستعمل المعدن فى الصباغة وإزالة الشعر من الجلود. ويستعاض عن المعدن الآن بالمركب الكيميائى. وقد كان الرياجر والأوربيمنت يستعملان فى صناعة البويات ولكن توقف هذا الإستعمال الآن نظرا لطبيعتها السامة.

ستبنيت Sb_2S_3

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم ، نظام الهرم المنعكس . البلورات منشورية رفيعة وأوجه المنشور مخططة طوليا . بعض البلورات منحنية أو منثنية . عادة يوجد فى هيئة مجموعات لبلورات شعاعية أو نصلية ، شكل (١٨٥) ، واضح فيها الانفصام . كذلك يوجد فى هيئة كتل دقيقة أو خشنة الحبيبات



شكل (١٨٥) بلورات ستبنيت .

الصلادة = ٢ . الوزن النوعى = ٤٫٥٢ — ٤٫٦٢ . الانفصام كامل موازى المسطوح الجانبى {٠١٠} . البريق فلزى و ناصع على أسطح الانفصام . والخدش رصاصى فاتح إلى أسود . معتم .

التركيب الكيميائى : ثالث كبريتيد الأنتيمون . انتيمون = ٧١٫٤٪ ، كبريت = ٢٨٫٦ ٪ ، قد يحتوى المعدن على كميات بسيطة من الذهب والفضة والرصاص والنحاس .

درجة الإنصهار = ١ . بتسخين المعدن على مكعب الفحم يعطى طبقة كثيفة بيضاء من ثالث أكسيد الأنتيمون ورائحة غاز أكسيد الكبريت .

يتميز المعدن بدرجة انصهاره المنخفضة (سهل الانصهار) وهيئة بلوراته النصلية وانفصامه فى مستوى واحد ولونه الرصاصى الناتج وخدشه الأسود الناعم .

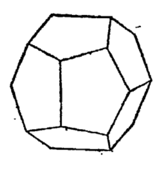
يترسب ستبنيت من المياه القلوية عادة مع معدن الكوارتز . يوجد المعدن فى العروق المائية الحارة المنخفضة الحرارة القاطعة لصخور الجرانيت والنيس ومختلطا مع معادن الجالينا والسنبار وسفاليريت وباريت وريالجر وأوربيمنت والذهب . كذلك يوجد نتيجة للاحلال فى الصخور الجيرية والطفلية ، ومصدر هذه المحاليل هو الينابيع الحارة .

يوجد المعدن فى كثير من مناطق التعدين بأواسط أوروبا ، وتوجد بلورات رائعة للمعدن فى اليابان ، شكل (١٨٥) . تعتبر الصين أهم دولة منتجة لستبنيت ويوجد المعدن فى بورنيو وبوليفيا وبيرو والمكسيك وبعض الولايات الأمريكية ويوجد المعدن فى بعض العروق فى الجزء الجنوبى من الصحراء الشرقية المصرية .

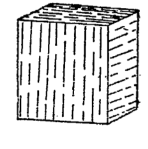
يعتبر معدن ستبنيت أهم خام للانتيمون . ويستخدم الفلز فى صناعة كثير من السبائك التى تستعمل فى البطاريات الكهربائية وحروف الطباعة وأنواع أخرى كثيرة من السبائك الفلزية اما الكبريتيد فإنه يستعمل فى صناعة الصواريخ النارية والثقاب والكاوتشوك وفى الأغراض الطبية . ويستخدم ثالث أكسيد الانتيمون فى صناعة الطلاء والزجاج .

بيريت (FeS_2)

يتبلور المعدن فى فصيلة المكعب . نظام الاثنى عشر وجها المعينى المزدوج Didodecahedral Class ، غالباً فى هيئة بلورات يغلب عليها شكل المكعب ، وفى بعض الاحيان تكون الاوجه مخططة ، شكل (١٨٦) . وكذلك قد توجد أشكال الاثنى عشر وجها الخماسى Pentagonal Dodecahedron (بيريتوهيدرون) شكل (١٨٧) ، وثمانى الأوجه . وتوجد بعض البلورات التوأمية . كذلك يوجد المعدن فى هيئة كتلية أو حبيبية أو كلوية أو كروية أو



شكل (١٨٧)



شكل (١٨٦)

استلا كتيتية . الصلادة = ٦ — ٥ر٦ (تعتبر عالية بالنسبة للكبريتيد) . الوزن النوعى = ٢ر٥ . قابل للكسر . البريق فلزى ناصع . اللون نحاسى أصفر باهت ولكن قد يكون أغمق من ذلك نتيجة للصدأ . الخدش أسود مائل للخضرة أو الى اللون البنى . معتم .

التركيب الكيميائى : ثانى كبريتيد الحديد (FeS_2) . الحديد = ٦ر٤٦ ٪ والكبريت = ٤ر٥٣ ٪ . قد يحتوى المعدن على كميات بسيطة من النيكل والكوبالت والزرنيخ . عادة يحتوى على كميات ضئيلة من الذهب والنحاس والتى توجد كشوائب ميكروسكوبية . درجة الانصهار = ٥ر٢ — ٣ ، وتعطى كرة صغيرة مغناطيسية . يعطى المعدن كمية من الكبريت فى الأنبوبة المقفلة . أما فى الأنبوبة المفتوحة أو على مكعب الفحم فيعطى رائحة غاز ثانى أكسيد الكبريت لا يذوب فى حامض الهيدروكلوريك ، ولكن المسحوق الناعم يذوب فى حامض النيتريك .

يتميز المعدن عن الكالكوبيريت بلونه الباهت وصلادته العالية (لاينخدش بمسمار صلب) ويتميز عن الذهب بقابليته للكسر وصلادته العالية (الذهب قابل للطرق والسحب) . ويتميز عن المركزيت بلونه الأغمق وشكله البلوري .

يتحال معدن البيريت بسهولة ويتأكسد إلى أكاسيد الحديد ، عادة الليمونيت ولكن المعدن أكثر ثباتاً على عدم التحلل من المركزيت . وغالباً توجد بلورات خادعة (أو كاذبة) لليمونيت المتكون من تأكسد البيريت ، ويطلق اسم جوسان Gossan على الغطاء الذى يوجد فوق عروق البيريت بالقرب من السطح والمكون من رواسب اسفنجية من الليمونيت . وتعتبر الصخور الحاوية على معدن البيريت غير لائقة للأغراض البنائية الهندسية ، وذلك بسبب سهولة اكسدة البيريت التى تؤدى إلى تفتت الصخر وصبغه بلون أكسيد الحديد .

معدن البيريت من المعادن الشائعة الوجود ، ويتكون المعدن فى درجات الحرارة العاليه والمنخفضة ، ولكن الرواسب الضخمة يحتمل أن تكون قد تكونت فى درجات حرارة عالية ، كما يوجد البيريت كمعدن إضافى فى الصخور الناريه ، وأيضاً فى الصخور المتحولة والعروق . وكذلك يوجد المعدن بصفة شائعة فى الصخور الرسوبية إما من أصل أولى أو من أصل ثانوى . ويوجد معدن البيريت مصاحباً عادة معادن كالكوبيريت وسفاليريت وجالينا . ويوجد المعدن بكميات كبيرة فى أسبانيا والبرتغال وبعض الولايات الأمريكية . وفى مصر يوجد المعدن منتشراً فى كثير من العروق والصخور النارية والمتحولة والرسوبية فى الصحراء الشرقية وشبه جزيرة سينا والصحراء الغربية ، ولكن لايوجد بكميات كبيرة ذات قيمة إقتصادية .

يستعمل البيريت أساسا فى صناعة حامض الكبريتيك ولكنه يعتبر مصدراً للحديد فى البلاد التى تفتقر إلى رواسب أكاسيد الحديد فيها . وقد يستعمل المعدن كمصدر للنحاس والذهب . ويستعمل المعدن فى إنتاج كبريتات الحديدوز copperas التى تستخدم فى الصباغة وصناعة الحبر وأغراض كيميائية مختلفة .

مركزيت (FeS_2)

(بيريت الحديد الأبيض)

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم ، نظام الهرم المنعكس . البلورات غالباً مسطحة وموازية للسطوح القاعدى وكذلك تظهر على الباورات منشورات قصيرة . عادة توجد البلورات فى مجموعات توأمية . كذلك توجد مجموعات باورات شعاعية أو استلاكتيتية حيث يتكون اللب core من بلورات شعاعية ومغطاة من الخارج بمجموعات بلورات غير منتظمة . كذلك فى مجموعات كروية أو كلوية . يتميز المعدن عن البيريت بلونه الأصفر الباهت وبلوراته وهيئته الأبرية وكذلك بالاختبارات الكيميائية وبالأشعة السينية .

يتحال المعدن بسهولة إذا قورن بمعدن البيريت وينتج عن التحلل كبريتات الحديدوز وحامض الكبريتيك . ويعرف المسحوق الأبيض الذى يتكون على سطح المركزيت فى الطبيعة بإسم ميلانتيريت .

يوجد معدن المركزيت فى العروق الكبريتيدية خصوصاً مع خامات الرصاص والزنك ، وكذلك ، فى الصخور الرسوبية . ويترسب المعدن من المحاليل الأرضية فى درجات الحرارة العادية كمعدن ثانوى ، يوجد كثيراً فى الصخور الجيرية نتيجة للإحلال ، وكذلك كدرنات concretions مترسبه فى الطين والمارل والطفل . يوجد فى أوروبا الوسطى وإنجلترا وبعض الولايات الأمريكية . يوجد المعدن منتشراً فى بعض صخور وعروق الصحراء الشرقية ، كما يوجد فى منطقة الكبريتيدات الغنيه تحت مستوى الماء الأرضى فى منطقة أم غيج مجتمعا مع رواسب الزنك والرصاص . يستعمل المعدن بكميات قليلة فى صناعة حامض الكبريتيك .

أرسينوبيريت (FeAsS)

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . البلورات عادة منشورية موازية للمحور ح . بعض الباورات توأمية وتعطى مجموعاتها أشكالا معينية قائمة كاذبة . يوجد فى هيئة كتلية . الصلادة = ٥,٥ — ٦ ، الوزن النوعى = ٦,٠٧ . البريق فلزى . اللون أبيض فضى المخدش أسود معتم .

يعتبر معدن الأرسينوبيريت أكثر المعادن الحاوية للزرنيخ انتشاراً ، يوجد المعدن مع خامات القصدير والتنجستن فى العروق المائية المرتفعة الحرارة وكذلك فى عروق أخرى حاوية لمعادن الفضة والنحاس والجالينا وسفاليريت وبيريت وكالكوبيريت . يوجد المعدن عادة مع الذهب ، وقد يوجد المعدن فى صخر البجماتيت ورواسب الصخور المتحولة بالحرارة ، وكذلك يوجد منتشراً فى بعض الصخور الجيرية المتبلورة .

يوجد معدن الارسينوبيريت منتشراً فى كثير من البقاع وخصوصاً فى مناطق أوروبا الوسطى وإنجلترا وبوليفيا وبعض الولايات الأمريكية . يوجد المعدن فى بعض عروق المرو الحاملة للذهب كما فى العروق الموجودة عند أبو دباب فى المنطقة الوسطى من الصحراء الشرقية المصرية

يستعمل المعدن كخام للزرنيخ ، ويستخدم أكسيد الزرنيخوز فى صناعة الزجاج ومادة حافظة . أما زرنيخات الرصاص فتستعمل كمبيد حشرات ، وتستعمل بعض الأملاح الأخرى فى صناعة البويات والصواريخ النارية .

موليبدينيت (MoS_2)

يتبلور المعدن فى فصيلة السداسى ، نظام الهرم المنعكس السداسى المزدوج . البلورات سداسية مسطحة وقصيرة . يوجد غالباً فى هيئة قشرية أو كتلية أو صفائحية . الصلادة = ١ - ١٫٥ . الوزن النوعى = ٤٠٦٢ — ٤٠٧٢ الانفصام قاعدى كامل {٠٠٠١} . الصفائح سهلة الانثناء والتشكيل ولكنها ليست مرنة قابل للتقطيع والتقشير . الملمس شحمى . البريق فلزى . اللون رصاصى فاتح . المخدش أسود رصاصى . معتم .

يشبه المعدن معدن الجرافيت ولكنه يتميز عنه بوزنه النوعى العالى ، ولون الموليبدنيت يشوبه بعض الزرقة ولكن الجرافيت يشوبه بعض اللون البنى .

وكذلك يفرق المعدنان بالاختبارات الكيميائية حيث يدل وجود الكبريت والموليبدنوم على الموليبدينيت ، وإذا خدش المعدنان على لوح من الصينى المصقول اللامع فإن الموليبدينيت يعطى مخدشا يميل إلى الخضرة أما الجرافيت فيعطى مخدشا أسود .

يظهر معدن المولبدينيت كمعدن إضافى فى بعض أنواع صخور الجرانيت والبجماتيت والابليت ، ولكن يغلب وجود المعدن فى العروق المائيه الحارة المرتفعة الحرارة حيث يصاحب معادن الكاسيتريت وشيليت وولفراميت وفلوريت . وكذلك يوجد المعدن فى بعض الصخور المتحولة بالحرارة مع معادن سليكات الكالسيوم وشيليت (تنجستات الكالسيوم) وكالكوبيريت .

يوجد المعدن فى بوهيميا والسويد والنرويج وانجلترا والصين والمكسيك وبعض الولايات فى أمريكا وكندا . ويوجد المعدن فى عروق الكوارتز القاطعة لصخر الجرانيت فى منطقة جبل الجتار (القطار) بالصحراء الشرقية المصرية .

يستعمل المعدن كخام لفلز المولبدنوم ومركباته الكيميائية . يستعمل الفلز فى صناعة الصلب والحديد والأجهزة والأدوات التى تدور بسرعة . وفى الأفران الكهربائيه وأجهزة الأشعة السينية .

معادن الاملاح الكبريتية (Sulfosalts)

المعادن الكبريتيدية هى المعادن التى تحتوى على فلز (مثل الرصاص والحديد والنحاس... الخ) أو شبه فلز (مثل الزرنيخ والانتيمون) متحدا مع الكبريت. أما إذا وجد كلا من الفلز وشبه الفلز فإن شبه الفلز يأخذ مكان الكبريت فى البناء الذرى كما فى حالة الأرسينوبيريت (FeAsS) — ويتفاعل شبه الفلز فى هذه الحالة كعنصر سالب التكهرب (أنيون) . أما فى معادن الأملاح الكبريتية فإن شبه الفلز يقوم بدور الفلز فى البناء الذرى ، وعلى ذلك يمكن اعتبار هذه المعادن كأنها كبريتيدات مزدوجة : فمثلا معدن إينارجيت (Cu_3AsS_4) يمكن اعتباره كأنه كبريتيد مزدوج : ($3Cu_2S.As_2S_5$) .

ويوجد حوالى ١٠٠ معدن ملح كبريتى ولكن أهم هذه المعادن هى :

بيرارجيريت	Pyrargyrite	(Ag_3SbS_3)	الثلاثى
بروستيت	Proustite	(Ag_3AsS_3)	الثلاثى
تتراهيدريت	Tetrahedrite	[$(Cu,Fe,Zn,Ag)_{12}$ Sb_4S_{13}]	المكعب

إينارجيت	Enargite	(Cu_3AsS_4)	المعينى القائم
بورنونيت	Bournonite	($PbCuSbS_3$)	المعينى القائم

بيراجيريت (Ag_3SbS_3)

(خام الفضة الأحمر الداكن)

يتبلور المعـــدن فى فصيلة الثلاثى ، نظام الهرم المزدوج Ditrigonal Pyramidal : البلورات نادرة . يغلب وجوده فى هيئة كتليه متماسكة أو منتشرة أو فى هيئة قشور أو صفوف . الصلادة = ٢,٥ — ٣ ، الوزن النوعى = ٥,٨ . المكسر محارى . البريق ألماسى . نصف شفاف . أحمر داكن إلى رصاصى فاتح . المخدش أحمر فاقع (cherry) إلى أحمر أرجوانى (purple) .

يوجد المعدن مع معادن الفضة الكبريتية المحلية فى عروق الفضة مصاحباً خامات فضة وكالسيت وجالينا . يوجد فى أواسط أوروبا وفى المكسيك وشيلى وأونتاريو وبعض ولايات أمريكا . يستعمل المعدن كخام هام للفضة .

بروستيت (Ag_3AsS_3)

يتبلور المعدن فى فصيلة الثلاثى ، نظام الهرم الثلاثى المزدوج . البلورات صغيرة ومتغيرة يوجد عادة فى هيئة كتلية أو قشور أو فى صفوف . الصلادة = ٢,٥ — ٣ . الوزن النوعى = ٥,٥ . المكسر محارى . نصف شفاف ، قابل للكسر . البريق الماسى ، اللون أحمر ياقوتى . المخدش أحمر فاقع .

يوجد المعدن فى عروق الفضة مصاحباً معادن الفضه والكالسيت والجالينا .

تتراهيدريت [$(Cu,Fe,Zn,Ag)_{12}Sb_4S_{13}$]

(النحاس الأشهب)

يتبلور المعـــدن فى فصيلة المكعب . نظام سداسى رباعى الأوجه Hexatetrahedral . قد يوجد فى مجموعات بلورات متوازية . من الأشكال الشائعة على البلورات رباعى الأوجه والاثنا عشر وجها معينا والمكعب . يوجد

المعدن كذلك فى هيئة كتلية ذات حبيبات دقيقة أو خشنة . الصلادة = ٣ — ٤,٥ . الوزن النوعى = ٤,٦ — ٥,١ . البريق فلزى . اللون أسود رصاصى إلى أسود . المخدش أسود إلى بنى ، معتم .

التركيب الكيميائى: أساسا عبارة عن كبريتيد الأنتيمون والنحاس والحديد والزنك والفضة ، والنحاس هو أكثر هذه العناصر ، أما الحديد والزنك فوجودهما يكون بدرجة متوسطة ، ولكن الفضة والرصاص والزئبق فأقلها وجوداً . وقد يحل الزرنيخ محل الأنتيمون إحلالا تاماً (بجميع النسب) وعلى ذلك توجد متسلسلة كاملة بين الطرفين النهائيين أحدهما معدن الأنتيمون النقى — تتراهيدريت — والآخر معدن الزرنيخ النقى تانتيت Tennantite .

درجة الانصهار = ١,٥ . يعطى المعدن على مكعب الفحم وكذلك فى الأنبوبة المفتوحة الاختبارات الخاصة بالأنتيمون أو الزرنيخ أو كليهما . وتعطى المادة المسخنة والمبللة بحامض الهيدروكلوريك لوناً أزرق غامقا للهب دلالة على كلوريد النحاس . يتفاعل المعدن مع حامض النيتريك مع ترسيب الكبريت وثالث أكسيد الأنتيمون ، فإذا أضفنا إلى المحلول الناتج الأمونيا حتى يصبح قلوياً فإن لونه يصبح أزرقاً .

يتميز المعدن بشكل بلوراته الرباعية الأوجه . وعندما يكون فى هيئة كتلية يتميز بقابليته للكسر ، ولونه الرصاصى .

يعتبر معدن تتراهيدريت أكثر معادن الأملاح الكبريتية انتشاراً . يوجد عادة فى العروق المائية الحارة مع معادن النحاس والفضة التى تتكون فى ظروف منخفضة أو متوسطة من الحرارة . يندر وجود المعدن فى العروق المرتفعة الحرارة أو فى الصخور المتحولة . يوجد المعدن مصاحباً الكالكوبيريت وسفاليريت وجالينا ومعادن فضة ونحاس ورصاص أخرى كثيرة .

قد يحتوى المعدن على كمية لا بأس بها من الفضة حتى يصبح خاماً هاماً للفضة . يوجد فى انجلترا (كورنوول) . وسكسونيا (فرايبرج) وبوهيميا ورومانيا والمكسيك وبيرو وبوليفيا . وفى بعض ولايات أمريكا ، يستعمل المعدن كخام للنحاس والفضة .

إينارجيت (Cu_3AsS_4)

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم ، نظام الهرم . البلورات صغيرة ومنشورية مخططة رأسيا ولكنها نادرة غالباً . يوجد المعدن فى هيئة كتل متماسكة أو حبيبية أو عمدانية . الصلادة = ٣ . الوزن النوعى = ٤٫٤ . الانفصام منشورى كامل . المكسر خشن . البريق فلزى . اللون والمخدش أسود رصاصى إلى أسود حديدى معتم .

معدن إينارجيت من المعادن النادرة نسبياً ويوجد فى العروق ورواسب الإحلال مصاحباً معادن البيريت وسفاليريت وبورنيت وجالينا وتتراهيدريت وكوفيلليت وكالكوسيت .

بورنونيت ($PbCuSbS_3$)

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم . نظام الهرم المنعكس . البلورات منشورية أو مسطحة سميكة . وغالباً توأمية فى شكل صليب . كذلك يوجد المعدن فى هيئة كتلية متماسكة وحبيبية . الصلادة = ٢٫٥ — ٣ . الوزن النوعى = ٥٫٧ — ٥٫٩ . الملمس شحمى على السطح المكسور حديثاً . البريق فلزى . اللون رصاصى إلى أسود . المخدش رصاصى داكن إلى أسود .

يعتبر معدن بورنونيت من المعادن الكبريتية الملحية الشائعة حيث يوجد فى العروق المائية الحارة المتوسطة الحرارة . ويصاحب البورنونيت معادن الجالينا وتتراهيدريت وسفاليريت وبيريت .

المعادن الأكسيدية

يمكن تصنيف الأكاسيد إلى أكاسيد بسيطة وأكاسيد مركبة وأكاسيد تحتوى على شق الايدروكسيد وإيدروكسيدات . أما فى التصنيف التالى فسوف نكتفى بتصنيفها إلى أكاسيد لامائية وأكاسيد مائية . وتشمل مجموعة الأكاسيد معادن كثيرة ذات قيمة اقتصادية وخصوصاً معادن هيماتيت ، ماجنتيت ، كروميت ، كاسيتريت ، جوتيت . وسنضم إلى هذه المجموعة أكاسيد السليكون ، ولو أنه حسب بنائها الذرى تتبع مجموعة السليكات .

ونلاحظ فى التصنيف التالى أن أكاسيد الفلزات اللامائية يمكن حصرها فى خمسة أنماط Types تبعاً لنسبة الفلز A (وفى بعض الأحيان معه فلز آخر B) إلى الأكسجين ، وهى :

نمط A_2O ، مثل H_2O (معدن الثلج)، Cu_2O
نمط AO ، مثل ZnO
نمط A_2O_3 ، مثل Al_2O_3 ، Fe_2O_3 ، $FeTiO_3$
نمط AO_2 ، مثل TiO_2 ، SnO_2 ، MnO_2 ، UO_2
نمط AB_2O_4 ، مثل $MgAl_2O_4$ ، $FeCr_2O_4$
$FeFe_2O_4$

ا ـ اكاسيد لا مائية

كوارتز	Quartz	SiO_2	الثلاثي
كوبريت	Cuprite	Cu_2O	المكعب
زنكيت	Zincite	ZnO	السداسي
كوراندوم	Corundum	Al_2O_3	الثلاثي
هماتيت	Hematite	Fe_2O_3	الثلاثي
إلمنيت	Ilmenite	$FeTiO_3$	الثلاثي
روتيل	Rutile	TiO_2	الرباعي
كاسيتريت	Cassiterite	SnO_2	الرباعي
بيرولوسيت	Pyrolusite	MnO_2	الرباعي
يورانينيت	Uraninite	UO_2	المكعب
سبينل	Spinel	$MgAl_2O_4$	المكعب
ماجنتيت	Magnetite	$FeFe_2O_4$	المكعب
كروميت	Chromite	$FeCr_2O_4$	المكعب

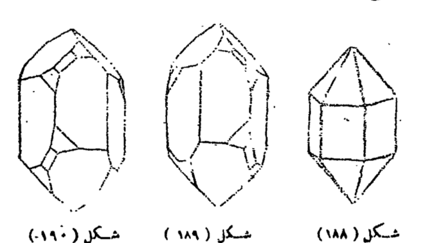
ب ـ اكاسيد مائية

أوبال	Opal	SiO_2nH_2O	غير متبلور
ماجانيت	Manganite	$MnO(OH)$	الميل الواحد
جوتيت	Goethite	$HFeO_2$	المعيني القائم
(ليمونيت)	Limonite	أكاسيد حديد متميئة	
(بوكسيت)	Bauxite	أكاسيد ألومنيوم متميئة	
بسيلوميلين	Psilomelane	أكاسيد منجنيز متميئة	

١ — الأكاسيد اللامائية

الكوارتز (SiO_2)

يوجد نوعان من الكوارتز: الكوارتز المتبلور فى درجات حرارة أقل من ٥٧٣°م وهذا يتبع فصيلة الثلاثى، نظام شبه المنحرف الثلاثى Trigonal Trapezohedral والكوارتز المتبلور فى درجات حرارة أعلى من ٥٧٣°م وهذا يتبع فصيلة السداسى نظام شبه المنحرف السداسى Hexagonal Trapezohedral ويكثر وجود بلورات الكوارتز المنخفض (أقل من ٥٧٣°م) فى الطبيعة حيث تتكون من منشور سداسى وتنتهى بأوجه المعينى السالب والموجب، وقد تكون أوجهما (السالب والموجب) متساويتين حتى ليبدوان معا وكأنهما شكل الهرم المنعكس السداسى، شكل (١٨٨) . وهيئة البلورة الشائعة هى المنشورية أما الهيئة الهرمية فإنها أقل انتشاراً، وتوجد خطوط أفقية على أوجه المنشور . وقد توجد البلورات منثنية أو مشوهة كثيرا . وعندما توجد أوجه الشكل البلورى المعروف باسم شبه المنحرف الثلاثى على البلورة فان البلورة توصف بأنها يمينية right-handed ، شكل (١٨٩) ، أو يسارية left-handed ، شكل (١٩٠) حسب نوع شكل شبه المنحرف الموجود .



شكل (١٨٨) شكل (١٨٩) شكل (١٩٠)

ويكثر وجود التوائم على بلورات الكوارتز . ويوجد الكوارتز أيضا فى الهيئة الكتلية وفى أشكال كثيرة . وقد تكون البلورات كبيرة واضحة أو دقيقة مجهرية أو خفيفة .

الصلادة = ٧ . الوزن النوعى = ٢،٦٥ . المكسر محارى . البريق زجاجى وقد يكون فى بعض العينات شحمى أو ناصع . اللون عادة شفاف أو أبيض ولكن عادة يتلون المعدن بألوان مختلفة نتيجة لوجود الشوائب المختلفة به وينتج عن هذه الألوان أنواع كثيرة من معدن الكوارتز (كما سيلى بعد) . شفاف أو نصف شفاف . له خواص الكهرباء الضغطية والكهرباء الحرارية بوضوح .

التركيب الكيميائى : عبارة عن ثانى أكسيد السليكون النقى . السليكون = ٤٦،٧ ٪ الأكسجين = ٥٣،٣ ٪ ، ولكن قد يكتنف المعدن معادن الروتيل والهماتيت والكلوريت والميكا وبعض المكتنفات (inclusions) السائلة أو الغازية مثل ثانى أكسيد الكربون . الخ . لا يذوب المعدن فى الأحماض العادية ولكنه يذوب فى حامض الهيدروفلوريك . لا ينصهر المعدن ولكنه يعطى كرة زجاجية شفافة عندما يصهر مسحوق المعدن مع حجم مساو له من كربونات الصوديوم .

يتميز المعدن ببريقه الزجاجى ومكسره المحارى وشكله البلورى . ويتميز عن معدن الكالسيت بصلادته العالية ، وعن بعض أنواع معدن البيريل بصلادته المنخفضة .

توجد أنواع عدة من الكوارتز يمكن تصنيفها لسهولة الدرس والإختبار إلى قسمين :

١ — الأنواع الخشنة التبلور Coarsely crystalline varieties

٢ — الأنواع الخفية التبلور Cryptocrystalline varieties

(ا) أنواع الياقية Fibrous varieties

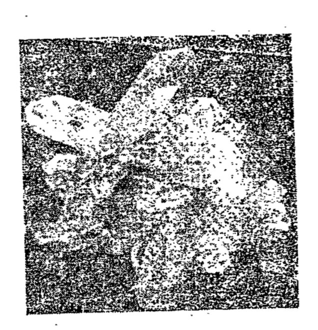
(ب) أنواع حبيبية Granular varieties

١ — الأنواع الخشنة التبلور .

(١) البلور الصخرى Rock crystal : يوجد الكوارتز الشفاف غالباً فى هيئة بلورات واضحة ، شكل (١٩١) .

(٢) الأميثست (الجمشت) أو الكوارتز البنفسجى Amethyst :

الكوارتز ذو اللون البنفسجى أو الأرجوانى . يحتمل أن يكون سبب اللون وجود شوائب من المنجنيز .



شكل (١٩١) بلورات الكوارتز

(٣) الكوارتز الوردى Rose Quartz : لونه أحمر وردى ويبهت اللون عند تعرضه للضوء . يحتمل أن يكون سبب اللون وجود التيتانيوم . يوجد المعدن فى هيئة كتل متبلورة خشنة ناقصة الاوجه .

(٤) الكوارتز المدخن Smoky Quartz : يوجد غالبا فى هيئة بلورات ذات لون دخانى أصفر يميل إلى البنى الاسود .

(٥) الكوارتز الابيض أو اللبنى Milky Quartz : لونه أبيض مثل اللبن. معتم تقريباً . له بريق شحمى .

(٦) الكوارتز الحديدى Ferruginous Quartz : لونه بنى أو أحمر نتيجة لاحتوائه على الليمونيت أو الهماتيت .

(٧) الكوارتز الاصفر أو السترين Citrine ولونه أصفر باهت .

(٨) عين الهر Cat's eye : وله خاصية الاوبال (اللألاة) أو عرض الالوان

نتيجة لوجود شوائب فى هيئة ألياف أو لطبيعة وجود الكوارتز نفسه فى هيئة ألياف .

(٩) عين النمر Tiger's eye : كوارتز أليافى لونه أصفر يوجد فى جنوب أفريقيا وهو عبارة عن شكل كاذب للكوارتز الذى حل محل المعدن الأليافى كروسيدوليت (نوع من البيروكسينات تركيبه سليكات الصوديوم والحديد المائية)

٢ — الأنواع الخفية التبلور :

لا يمكن التفرقة بين القسمين التابعين لهذه الأنواع — الأليافية والحبيبية — إلا بواسطة الميكروسكوب .

(ا) الأنواع الأليافية .

(١) كالسيدونى chalcedony نوع ذو بريق شمعى . شفاف أو نصف شفاف . الوزن النوعى = ٢٫٦٤ . يتكون من ألياف ميكروسكوبية . اللون أبيض أو رمادى أو بنى أو أسود . وقد تكون الكالسيدونى بالترسيب من المحاليل المائية حيث يوجد مالئا للشقوق والفجوات فى الصخور .

(٢) أجيت (العقيق) Agate نوع من الكالسيدونى يمتاز بلونه الموجود فى صفوف أو طبقات قد تكون مستقيمة أو متموجة أو دائرية أو غير منتظمة ، شكل (١٩٢) . وقد يكون لون هذه الصفوف أبيضا أو بنيا أو أحمر . وقد نتجت هذه الصفوف عن الترسيب المتلاحق .

شكل (١٩٢) أجيت

(٣) كارنيليان (العقيق الأحمر) carnelian كالسيدونى أحمر .

(٤) كرايزوبريز Chrysoprase : كالسيدونى ذو لون أخضر تفاحى.

(٥) أونكس (العقيق اليمانى) Onyx : أجيت ذو صفوف مستقيمة .

(ب) الأنواع الحبيبية :

الجاسبر (اليصب) Jasper عبارة عن كوارتز مكون من حبيبات خفية التبلور ذو لون أحمر نتيجة لاحتوائه على الهيماتيت . معتم .

أما الفلنت (الصوان) Flint والشيرت chert فهما اسمان لصخرين وليسا لمعدنين لأن كلا منهما يتكون من أكثر من معدن للسليكا . وقد استخدم الإنسان القديم صخر الفلنت فى نحت وعمل كثير من الأدوات التى يستعملها .

ومعدن الكوارتز من المعادن الشائعة الوجود فى الطبيعة . فهو مكون أساسى للصخور النارية الحمضية مثل الجرانيت والرايوليت والبجماتيت . كذلك يكون الكوارتز معظم حبيبات الصخور الرسوبية الرملية ، وذلك لأن المعدن يقاوم عوامل التحلل والتفتت فيبقى بعد تكسير الصخور النارية الحاوية له ويكون الرواسب الرملية الكوارتزية . وكذلك يوجد المعدن فى الصخور المتحولة مثل الشست والنيس وكذلك معظم الصخر المعروف بإسم الكوارتزيت . ويترسب معدن الكوارتز من المحاليل المائية الحارة ليكون المعدن الأرضى gangue الغالب فى العروق . أما المحاليل التى تحتوى على السليكا فإنها تتفاعل مع الصخور الجيرية لتحل محل أجزاء منها ، ويترسب منها رواسب السليكا المعروفة باسم الفلنت والشيرت والتى توجد فى هيئة كتل مستديرة أو عدسات أو طبقات متقطعة أو مستمرة داخل الحجر الجيرى . ومن المعادن التى تصاحب الكوارتز فى كثير من الأحيان معادن الفلسبار والمسكوفيت . ويوجد الكوارتز بكميات كبيرة مكونا رواسب الرمال على شواطىء الأنهار والبحار وكذلك رواسب التربة soil

يوجد البلور الصخرى rock crystal منتشراً فى كثير من البقاع ، أهمها جبال الألب والبرازيل وجزيرة مدغشقر واليابان . أما الأميثست فيوجد فى جبال الأورال فى روسيا وتشيكوسلوفاكيا والبرازيل ، وفى بعض ولايات أمريكا أما الكوارتز المدخن فتوجد بلورات كبيرة منه فى سويسرا وفى ولايات كولورادو وشمال كارولينا ومين Maine بأمريكا . اما الأجيت فيوجد فى

جنوب البرازيل وشمال أوروجواى وألمانيا وبعض ولايات أمريكا .

تستعمل الأنواع الملونة من الكوارتز مثل الاميثست والكوارتز الوردى وعين الهر وعين النمر والأجيت والأونيكس . . . الخ فى أحجار الزينة . أما البلور الصخرى فيستعمل فى صناعة الأجهزة البصرية والكهربائية ، ويستورد معظم الكوارتز اللازم لتلك الصناعات من البرازيل ، بينما تستعمل الرمال الكوارتزية فى صناعة الأسمنت والزجاج ومواد الصنفرة والطوب الزجاجى ، أما مسحوق الكوارتز فإنه يستعمل فى صناعة الخزف والطلاء وورق الصنفرة وصناعات أخرى ، فى حين تستخدم الأحجار الرملية والكوارتزيت فى أغراض البناء ورصف الطرق .

أشكال أخرى بلورية متعددة لثانى أكسيد السليكون :

يوجد ثانى أكسيد السليكون فى أشكال بلورية أخرى غير النوعين الثلاثى (الشائع) والسداسى ، هى :

(١) التريديميت Tridymite ، ويوجد إما فى بلورات معينية قائمة (منخفضة الحرارة) أو سداسية (مرتفعة الحرارة) .

(٢) الكريستوباليت Cristobalite ، ويوجد إما فى بلورات رباعية (منخفضة الحرارة) أو مكعبية (مرتفعة الحرارة) .

تريديميت (SiO_2)

يتبلور معدن تريديميت فى فصيلة المعينى القائم ولكنه يوجد فى شكل سداسى كاذب عقب التريديميت المرتفع الحرارة (سداسى التبلور). يتبلور المعدن بين درجتى حرارة ٨٧٠°م ، ١٤٧٠°م حيث يعطى بلورات ثابتة ، البلورات صغيرة ومعظمها توأمية . الصلادة = ٧ . الوزن النوعى = ٢٫٢٦ . البريق زجاجى شفاف أو أبيض اللون . لاينصهر . يذوب فى كربونات الصوديوم التى تغلى . أكثر ذوبانا فى حامض الهيدروفلوريك من الكوارتز .

لا يمكن تمييز المعدن بواسطة العين المجردة ، ولكن يجب استعمال الميكروسكوب وتعيين الشكل البلورى ومعامل الانكسار اللذين يفرقان المعدن عن بقية المعادن السليليكية .

يوجد المعدن بكميات كبيرة فى أنواع خاصة من الصخور البركانية السيليكية وعادة يصاحب معدن الكريستوباليت .

كريستوباليت (SiO_2)

يتبلور معدن كريستوباليت فى فصيلة الرباعى (مكعب كاذب). أما الشكل المرتفع الحرارة فإنه يتبلور فى فصيلة المكعب الذى غالبا يتحول إلى النوع المنخفض الحرارة (الرباعى) ولكن دون أن يتغير الشكل البلورى الخارجى. الصلادة = ٧ . الوزن النوعى = ٢،٣٠ . البريق زجاجى . شفاف لالون له . ثابت (مستقر stable) فقط فوق درجة ١٤٧٠°م . لاينصهر .

يوجد المعدن فى الفجوات الصغيرة فى الصخور البركانية السيليكية فى هيئة مجموعات كروية . لايمكن تمييز المعدن إلا بالاختبارات البصرية بواسطة الميكروسكوب المستقطب . يتواجد المعدن مع التريديميت .

أوبال ($SiO_2 . nH_2O$)

المعدن غير متبلور (Amorphous) ، يوجد عادة فى هيئة عنقودية أو استلاكتيتية . الصلادة = ٥ — ٦ . الوزن النوعى = ١،٩ — ٢،٢ . المكسر محارى . البريق زجاجى ، وقد يكون صمغى فى بعض الأحيان . عديم اللون أو أبيض ، أو ذو ألوان يشوبها أصفرار خفيف ، أو احمرار ، أو بنى أو خضرة ، أو رمادية ، أو زرقة خفيفة . وقد تكون هذه الألوان داكنة نتيجة لوجود بعض الشوائب . يكون للمعدن عادة خاصية الأوبال(اللألأة) (Opalescence) حيث يبدى عرضاً رائعاً للألوان . شفاف أو نصف شفاف .

التركيب الكيميائى : ثانى أكسيد السليكون . مثل الكوارتز ، ولكنه يحتوى على نسبة متغيرة من الماء ($SiO_2 \cdot nH_2O$) . يتميز الأوبال عن أنواع الكوارتز الخفية التبلور بصلادته ووزنه النوعى الأقل وكذلك بوجود الماء .

توجد أنواع عدة من الأوبال نذكر منها : الأوبال الثمين : لونه أبيض أو أزرق أو أصفر ، وفى بعض العينات ذو لون أسود . نصف شفاف ويبدى عرضا للألوان . الأوبال النارى عبارة عن أحد الأنواع الثمينة التى تبدى

انعكاسات حمراء أو برتقالية اللون عالية الكثافة . الأوبال العادى : لونه أبيض أو أصفر أو أخضر أو أحمر ، وليس له خاصية عرض الألوان . هياليت : أوبال شفاف رائق (مثل الزجاج) ذو سطح كروى أو عنقودى . جيزريت أو سنترسيليسكى (siliceous sinter) : نوع من الأوبال يترسب حول الينابيع الحارة المتفجرة المعروفة باسم جيزر (Geyser) . الأوبال الخشبى : أشجار متحجرة بواسطة مادة الأوبال . دياتوميت : رواسب دقيقة الحبيبات ، تشبه الطباشير فى مظهرها ، تتكون نتيجة لتراكم الجدران السيليكية المكونة لخلايا نبات الدياتوم (نبات طحلبى دقيق) على قاع البحر بعد موته ، ويعرف كذلك باسم التراب الدياتومى Diatomaceous earth .

يوجد الأوبال فى الطبيعة مبطنا أو مالئا للفجوات فى الصخور النارية الرسوبية حيث ترسب المعدن نتيجة لنشاط المياه الحارة . وقد يحل الأوبال محل الخشب المغطى بالتوفا البركانية . كما يترسب المعدن من الينابيع الحارة ، ويوجد فى طبقات رسوبية كنتيجة لتراكم هياكل حيوانات بحرية مجهرية . والنوع العادى من الأوبال شائع الوجود فى الطبيعة . يوجد الأوبال الثمين فى المجر والمكسيك وهندوراس ومناطق متعددة بأستراليا . ويوجد الدياتوميت فى مصر بالقرب من الفيوم .

يستعمل الأوبال كحجر كريم ، بعضها غالى الثمن جداً . أما التراب الدياتومى فيستخدم بكميات كبيرة فى مواد التجليخ والصنفرة وكذلك فى الترشيح والمواد المالئة (filler) وفى المنتجات العازلة .

كوبريت (Cu_2O)

يتبلور المعدن فى فصيلة المكعب ، نظام سداسى الثمانى الأوجه ، يوجد عادة فى هيئة مكعبات عليها أشكال ثمانى الأوجه والاثنى عشر وجها معينا وقد يوجد فى هيئة بلورات شعرية (Capillary) ، كذلك يوجد المعدن فى هيئة مجموعات دقيقة الحبيبات أو كتل . الصلادة = ٣٫٥ — ٤ . الوزن النوعى = ٦٫١ . البريق ألماسى معتم . اللون أحمر . الخدش أحمر بنى .

يعتبر المعـــدن من الخامات الثانوية الهامة للنحاس . يوجد المعدن فى

الأجزاء العليا الأكسيدية من عروق النحاس حيث يصاحب معادن الليمونيت ومعادن النحاس الثانوية الاخرى مثل النحاس العنصرى والملاكيت والازوريت والكريزوكولا . يستغل المعدن كخام للنحاس .

زنكيت (ZnO)

يتبلور المعدن فى فصيلة السداسى ، نظام الهرم السداسى المزدوج .البلورات نادرة وتغلب الاشكال الكتلية ذات المظهر الصفائحى أو الحبيبى .الصلادة = ٤ — ٤,٥ . الوزن النوعى = ٥,٦ . الانفصام منشورى واضح { ١٠١٠ } : انفصام قاعدى . البريق نصف ماسى إلى زجاجى . المخدش أصفر برتقالى . نصف شفاف .

يوجد المعدن بكميات كبيرة فى منطقتى فرانكلين وسترلينج بولاية نيوجرسى بأمريكا فى الصخور الجيرية المتحولة حيث يتواجد مع معادن فرانكلينيت ورودونيت (سليكات المنجنيز) ، ويلليميت ، سفاليريت ، رودوكروزيت(كربونات المنجنيز) ، كالسيت . يوجد المعدن بكميات صغيرة فى مناطق أخرى .

كوراندوم (Al_2O_3)

يتبلور المعدن فى فصيلة الثلاثى ، نظام المثلثات الوجهية الثلاثية المزدوجة Ditrigonal scalenohedral . البلورات عادة منشورية منتهية بأهرامات . يوجد عادة فى هيئة كتل ذات مستويات انفصال متعامدة تقريبا . الحبيبات دقيقة أو خشنة .

الصلادة = ٩ (قبل الالماس فى جدول الصلادة). الكوراندوم قد يتحلل على السطح ليعطى معدن الميكا الاقل صلادة ولذلك يجب ملاحظة تعيين الصلادة على سطح حديث . الوزن النوعى = ٤,٠٢ . يوجد انفصال قاعدى {١٠٠٠} ومعين الاوجه { ١٠١١ } . البريق ماسى إلى زجاجى، شفاف إلى نصف شفاف اللون متغير قد يكون مائلا إلى البنى أو الاحمر أو الازرق أو الابيض أو الرصاصى أو أحمر ياقوتى أو أزرق .

التركيب الكيميائى : (Al_2O_3) الألومنيوم = ٥٢,٩ ٪ ، الأكسجين = ٤٧,١ ٪ . غير قابل للانصهار أو الذوبان . يتميز المعدن بصلادته العالية وبريقه العالى ووزنه النوعى العالى ووجود الانفصال .

توجد عدة أنواع من الكوراندوم أهمها :

الياقوت : Ruby : وهو عبارة عن النوع الشفاف ذى اللون الأحمر القاتم وهو من الأحجار الكريمة الغالية .

السافير Sapphire : وهو عبارة عن النوع الشفاف الأزرق وهو من الأحجار الكريمة الغالية أيضاً . وتوجد أنواع منه قد تكون صفراء أو خضراء أو بنفسجية .

الكوراندوم العادى : ويشمل البلورات والكتل المتماسكة ذات البريق المعتم والألوان غير المنظمة .

أما الاميرى Emery فهو إسم المخلوط المكون من الكوراندوم والماجنتيت والهيماتيت .

يوجد الكوراندوم كمعدن إضافى فى الصخور المتحولة مثل الحجر الجيرى المتبلور والشست والنيس . وكذلك فى الصخور النارية قليلة السليكا مثل السيانيت ونيفلين سيانيت ، وفى بعض السدود النارية القاعدية . ويوجد المعدن كذلك فى الرمال والرواسب المنقولة حيث يوجد المعدن فى هيئة بلورات أو حبيبات مستديرة بقيت نتيجة لصلادة المعدن ومقاومته للتحلل . ويصاحب المعدن الكلوريت والميكا والأوليفين والسربنتين والماجنتيت وسبينيل وكيانيت ودياسبور .

يوجد الياقوت فى بورما وتايلاند وسيرلانكا فى رواسب التربة الناتجة من ذوبان الصخور الجيرية المتحولة . ويوجد السافير مصاحباً الياقوت فى تايلاند وسيرلانكا وكشمير ومنطقة كوينزلاند باستراليا وفى ولاية مونتانا بأمريكا . أما الكوراندوم العادى فهو منتشر فى صخور السيانيت فى مناطق مختلفة بالولايات المتحدة الأمريكية وكندا وروسيا ومدغشقر والهند وجنوب أفريقيا ، أما الاميرى

فيوجد ببعض جزر اليونان وفى تركيا وبعض ولايات أمريكا . وينتج الياقوت والسافير الآن بطرق صناعية ويصعب التفرقة بين المعدن الطبيعى والصناعى بالعين المجردة .

يستعمل الياقوت والسافير كأحجار كريمة . أما الكوراندوم فيستعمل فى مواد الصنفرة وكذلك يستعمل الأميرى .

هيماتيت (Fe_2O_3)

يتبلور المعدن فى فصيلة الثلاثى ، نظام المثلثات الوجهية الثلاثى المزدوج . البلورات عادة مسطحة رقيقة أو سميكة ، وقد تكون الصفائح الرقيقة متجمعة فى هيئة وردة (الورد الحديدى Iron roses) . يوجد المعدن عادة فى هيئة ترابية وكذلك فى هيئة عنقودية أو كلوية ذات بلورات شعاعية . الخام الكلوى Kidney ore . وكذلك يوجد المعدن فى هيئة صفائحية أو ميكائية Specular أو بطروخية . ويعرف المعدن باسم مارتيت Martite إذا وجد فى هيئة ثمانى الأوجه الكاذب عقب الماجنتيت .

الصلادة = ٥,٥ — ٦,٥ . الوزن النوعى = ٥,٢٦ (للبلورات) . توجد مستويات الانفصال القاعدية والمعينية الأوجه تقريباً متعامدة . البريق فلزى فى الأنواع المتبلورة ومطفى فى الأنواع الترابية . اللون بنى مائل للاحمرار إلى أسود . يعرف النوع الترابى الأحمر باسم المغرة الحمراء Red ochre . الخدش أحمر فاتح أو داكن يتحول إلى أسود بالتسخين . معتم إلى نصف شفاف .

التركيب الكيميائى : أكسيد الحديديك (Fe_2O_3) . الحديد = ٧٠ ٪ ، الأكسجين = ٣٠ ٪ قد يحتوى المعدن على التيتانيوم والمغنسيوم فيتحول بذلك إلى معدن إلمنيت .

لا ينصهر . يكتسب مغناطيسية قوية عند تسخينه فى اللهب المختزل . يذوب ببطء فى حامض الهيدروكلوريك ، يعطى المحلول مع حديد وسيانيد البوتاسيوم راسبا أزرقا داكنا (اختبار الحديديك) . يتميز المعدن بلون خدشه الأحمر الهندى Indian red .

معدن الهيماتيت من المعادن الشائعة فى الصخور وفى جميع العصور الجيولوجية ويعتبر أكثر خامات الحديد انتشاراً . فقد يوجد المعدن مترسبا حول فوهات البراكين كما يوجد فى الصخور المتحولة بالحرارة ، وكذلك كمعدن إضافى فى الصخور النارية الحمضية مثل الجرانيت . كذلك قد يحل محل الصخور السيليكية (الغنية بالسليكا) كذلك يوجد فى الصخور المتحولة الإقليمية (بالضغط والحرارة) . وقد تتكون رواسب كبيرة من الهيماتيت نتيجة لتحلل الصخور الحاوية للحديد . وتوجد هذه الرواسب فى هيئة كتل غير منتظمة أو طبقات ، مثلها فى ذلك مثل الليمونيت . وقد توجد هذه الرواسب فى هيئة بطروخية كما فى رواسب الحديد بأسوان . أما الصخور الرملية الحديدية فيوجد الهيماتيت فيها مكونا للمادة اللاحمة للحبيبات الكوارتزية .

أهم المناطق التى توجد فيها بلورات الهيماتيت هى جزيرة علبا Elba وسويسرا ، وفى الحمم حول بركان فيزوف وفى كمبرلاند بانجلترا وولايات ميشيجان وويزكونسن ومينيسوتا حول بحيرة سوبيريور بالولايات المتحدة الامريكية ، وفى هذه الولايات تكون هذه الرواسب المتبلورة جزءاً كبيرا من الخام . وكذلك يوجد الخام بكميات كبيرة فى فنزويلا والبرازيل وكندا .

وفى مصر يوجد المعدن فى رواسب بطروخية لونها أحمر داكن بمنطقة أسوان وتتراوح نسبة الهيماتيت بالخام ما بين ٥٤٫٨ ٪ ، ٨٨٫١ ٪ ، وتتبع هذه الرواسب العصر الكريتاوى . وكذلك توجد رواسب كبيرة من الهيماتيت المختلط مع أكاسيد الحديد المتميئة (مثل الجوتيت — والتى تعرف فى مجموعها باسم ليمونيت) فى الواحات البحرية وهذه الرواسب توجد فى صخور الايوسين . أما فى وادى كريم (٤٢ كيلو مترا شرقى القصير) فتوجد رواسب الحديد التابعة لحقب البريكامبرى Precambrian فى صخور متحولة حيث يتواجد الهيماتيت مع الماجنتيت بصفة أساسية ومختلطا مع الجاسبر . وهناك نوع ثالث من رواسب الهيماتيت حيث يوجد النوع الصفائحى من الهيماتيت والمعروف باسم سبكيولاريت Specularite مع الكوارتز فى العروق المائية الحارة القاطعة لصخور نارية حمضية أو متوسطة . ومن أمثلة هذه المناطق وادى أبو جريدة بالصحراء الشرقية (الجزء الشمالى) وجبل أبو مسعود بسيناء . وهناك نوع رابع

من رواسب الهياتيت وأكاسيد الحديد مختلطة مع أكاسيد المنجنيز وكلها تنتج بالإحلال على الصخور الجيرية الدولوميتية . ومعظم هذه الأكاسيد الحديدية من النوع الأخير توجد فى هيئة ترابية تعرف باسم المغرة الحمراء .

يعتبر معدن الهياتيت أهم خام للحديد . كذلك يستعمل المعدن فى عمل البويات (المغرة الحمراء) وفى عمل مسحوق الصقل . الاسم مشتق من كلمة يونانية معناها « الدم » بالنسبة إلى مشابهة لون مسحوق المعدن للدم .

إلمينيت ($FeTiO_3$)

يتبلور المعدن فى فصيلة الثلاثى : نظام معينى الأوجه . البلورات غالبا مسطحة سميكة . الثوابت البلورية متقاربة مع تلك فى الهياتيت . يوجد المعدن عادة فى هيئة صفائح وكذلك كتل متماسكة أو حبيبات سائبة كالرمل .

الصلادة = ٥ر٥ — ٦ . الوزن النوعى = ٧ر٤ . البريق فلزى أو نصف فلزى . اللون أسود حديدى . المخدش أسود أو أسود بنى . معتم . المعدن قليل المغناطيسية ، ولكن هذه الخاصية تزداد بالتسخين .

التركيب الكيميائى : أكسيد الحديدوز والتيتانيوم $FeTiO_3$. الحديد = ٨ر٣٦ ٪ ، التيتانيوم = ٦ر٣١ ، الأكسجين ٦ر٣١ ٪ . قد يحل المغنسيوم أو المنجنيز محل بعض الحديد . قد يحتوى المعدن على بلورات رقيقة من الهياتيت

لا ينصهر . يتمغطس المعدن بالتسخين . ينصهر مخلوط المسحوق الناعم للمعدن مع كربونات الصوديوم فى اللهب المختزل ليعطى كتلة مغناطيسية . يذوب المعدن — بعد انصهاره مع كربونات الصوديوم — فى حامض الكبريتيك ويتحول هذا المحلول إذا أضيف إليه فوق أكسيد الأيدروجين إلى لون أصفر .

يتميز الإلمينت عن الهياتيت بمخدشه وعن الماجنتيت بضعف مغناطيسيته ، ولكن إذا وجد المعدن متداخلا بلوريا مع الماجنتيت فيجب الالتجاء إلى الاختبارات الكيماوية للتمييز بين الإثنين .

يوجد المعدن كطبقات وأجسام عدسية الشكل فى الصخور المتحولة المتبلورة والنيس ، وكذلك كثيراً ما يوجد المعـــدن فى العروق والأجسام المنفصلة من الجبا القاعدية حيث يتواجد المعدن مع الماجنتيت ، كذلك يوجد الالمنيت كمعدن إضافى فى الصخور النارية . وكذلك يوجد ضمن المعادن المكونة لرواسب التجمعات فى الرمال السوداء مع معادن الماجنتيت والروتيل والزركون والمونازيت .

يوجد المعدن بكميات كبيرة فى النرويج وفى الاتحاد السوفيتى (جبال إلمين) وفى منطقة الأديرونداك بشرق الولايات المتحدة الأمريكية وفى منطقة كويبك بكندا . فى مصر يوجد المعدن فى منطقتى حماطة وأبو غلقة بالصحراء الشرقية الجنوبية حيث يوجد المعدن كعدسات وصفوف فى الصخور المتحولة والقاعدية التابعة لحقب البريكامبرى . كذلك يوجد المعدن فى الرمال السوداء الموجودة على شاطىء البحر المتوسط . ويكون المعدن حوالى ٤٧ر٧ ٪ من كمية المعادن المكونة للرمل الأسود .

يستعمل الألمنيت كمصدر للتيتانيوم . ويستعمل أكسيد التيتانيوم الآن بكميات كبيرة فى صناعة البويات محل البويات القديمة التى كانت تستعمل فيها مركبات الرصاص .

كاسيتريت (SnO_2)

يتبلور المعدن فى فصيلة الرباعى ، نظام الهرم المنعكس الرباعى المزدوج . الأشكال البلورية الشائعة هى المنشورات والأهرامات المنعكسة من الرتبة الأولى والثانية : ويكثر وجود البلورات التوأمية فى شكل الكوع Elbow–shaped . يوجد عادة فى هيئة كتلية حبيبية ، وكذلك فى هيئة مجموعات كلوية ذات بلورات إبرية شعاعية .

الصلادة = ٦ — ٧ ، الوزن النوعى = ٦ر٧ — ٧,١ (عالية بالنسبة لمعدن ذى بريق لافلزى) ، البريق ماسى إلى نصف فلزى أو معتم . اللون عادة بنى أو أسود ويندر أن يكون أصفرا أو أبيضاً . المخدش أبيض . نصف شفاف .

التركيب الكيميائى : ثانى أكسيد القصدير ، SnO_2 ، القصدير = ٧٨ر٦ ٪ الأكسجين = ٢١ر٤ ٪ قد يوجد بالمعدن كميات صغيرة من الحديد .

لا ينصهر المعدن . يعطى المعدن المطحون عند صهره على مكعب الفحم مع مادة مختزلة كرات صغيرة من القصدير ذات طبقة رقيقة من أكسيد القصدير الأبيض . وإذا وضعت قطع من المعدن فى حامض الهيدركلوريك المخفف مع قليل من فلز الزنك فإن سطح الكاسيتريت يختزل وتتغطى القطع بطبقة رقيقة من فلز القصدير لونها رمادى ولكنها تصبح ناصعة البريق عند تلميعها .

يتميز المعدن بوزنه النوعى العالى وبريقه الالماسى ومخدشه الأبيض .

معدن الكاسيتريت من المعادن المنتشرة بكميات صغيرة فى أماكن كثيرة ولكن الاماكن المنتجة للمعدن بكميات تجارية قليلة . ويوجد الكاسيتريت كمعدن أصلى فى صخور الجرانيت والبجماتيت وبكميات أكثر فى عروق الكوارتز القاطعة أو القريبة من الجرانيت . وتحتوى عروق القصدير على معادن التورمالين والتوباز والفلوريت والأباتيت (تحتوى هذه المعادن على الفلورين والبورون) ، أما صخور الحائط wall rock (الصخور التى تحيط بالعروق) فإنها تبدو عادة متحللة كثيرا . ومن المعادن التى توجد مع الكاسيتريت معدن ولفراميت (تنجستات الحديد والمنجنيز) . وكذلك يوجد الكاسيتريت فى هيئة حبيبات مستديرة فى الرواسب النهرية ورواسب التجمعات .

يحصل العالم على معظم القصدير اللازم له من دول الملايو وبوليفيا وأندونيسيا وزائير وغانا . وفى مصر توجد عروق المعدن فى مناطق أبو دباب والعجلة والمويلحة والنويبعة وزرقة النعام بالصحراء الشرقية الجنوبية . ويصاحب الكاسيتريت فى هذه المناطق الولفراميت والفلوريت والتوباز . وكذلك يوجد المعدن فى الرواسب الطينية والرملية فى الوديان المنتشرة بمناطق أبو دباب والعجلة والنويبعة وقد تكونت هذه الرواسب فى العصور الحديثة نتيجة لتعرية الصخور القديمة (ماقبل الكمبرى) الحاوية للكاسيتريت ونقلها إلى أماكنها الحالية فى الوديان بواسطة السيول حيث ترسب الكاسيتريت بالقرب من مصدره نتيجة لثقله

يستعمل المعدن كخام لفلز القصدير الذى يستعمل فى أغراض صناعية كثيرة منها صناعة الصفيح والسبائك (مثل البرونز) .

روتيل (TiO_2)

يتبلور المعدن فى فصيلة الرباعى ، نظام الهرم المنعكس الرباعى المزدوج . البلورات المنشورية المنتهية بأهرامات منعكسة شائعة . توجد التوائم الكوعية . توجد البلورات عادة فى هيئة إبرية ، وكذلك قد يوجد المعدن فى هيئة كتلية منضغطة . الصلادة = ٦ — ٦٫٥ . الوزن النوعى = ٤٫١٨ — ٤٫٢٥ . البريق ألماسى إلى نصف فلزى ، عادة نصف شفاف . اللون أحمر أو بنى أو أسود . المخدش بنى باهت .

يوجد الروتيل كمعدن إضافى فى صخور الجرانيت والبجماتيت الجرانيتى والنيس والشست الميكائى والحجر الجيرى المتبلور والدولوميت . وقد يوجد المعدن أيضاً فى عروق الكوارتز كبلورات إبرية متداخلة فى الكوارتز ، كما يوجد المعدن بكميات لا بأس بها فى الرمال السوداء مختلطا مع معادن الماجنتيت والزرقون والمونازيت والألمينيت .

يوجد فى النرويج وفرنسا وسويسرا والتيرول وفى بعض ولايات أمريكا . وفى مصر يوجد الروتيل ، بجانب انتشاره فى الصخور النارية الحمضية والمتحولة ، فى الرمال السوداء على ساحل البحر المتوسط .

يستعمل المعدن كخام لفلز التيتانيوم الذى يستعمل فى أغراض صناعية كثيرة (أنظر معدن إلمينيت ، صفحة ٢٩٤ ، ٢٩٥) .

بيرولوسيت (MnO_2)

يتبلور المعدن فى فصيلة الرباعى ، نظام الهرم المنعكس الرباعى المزدوج يندر وجوده فى بلورات كاملة . كثير من البلورات عبارة عن أشكال كاذبة عقب المانجانيت . يوجد عادة فى هيئة كتلية حبيبية أو كلوية أو شجرية ، شكل (١٩٣) .

الصلادة = ١ — ٢ (يترك أثرا أسودا على الأصابع) أما النوع المتبلور



شكل (١٩٣) بيرلوسيت في مجموعات شجرية

الخشن (بوليانيت) فصلادته من٦ — ٥ر٦٠ الوزن النوعي = ٤٫٧٥ البريق فلزي . اللون والخدش أسود حديدي . معتم .

التركيب الكيميائي : MnO_2 . المنجنيز = ٢ر٦٣ ٪ ، الأكسجين = ٨ر٣٦ ٪ . يحتوي عادة على قليل من الماء . لا ينصهر . تلون كمية صغيرة من مسحوق المعدن خرزة البوراكس بلون بنفسجي أحمر في اللهب المؤكسد وتلون خرزة كربونات الصوديوم بلون أخضر . إذا سخن في الأنبوبة المقفولة فإنه يعطي الأكسجين الذي يجعل شظية دقيقة من الفحم تتوهج وتحترق عند وضعها فوق المعدن وتسخينها . ويعطي المعدن غاز الكلور مع حامض الهيدروكلوريك

يتميز المعدن عن غيره من معادن المنجنيز بخدشه الأسود وصلادته المنخفضة واحتوائه على كمية صغيرة من الماء .

البيرولوسيت من المعادن الثانوية ويتكون من إذابة المنجنيز من الصخور المتبلورة حيث يوجد العنصر بكميات صغيرة، ثم ترسيبه مرة ثانية في هيئة معادن مختلفة أهمها البيرولوسيت . وتوجد المجموعات الشجرية، شكل (١٩٣)، من المعدن عادة على الأسطح المكسورة للحصى والقطع الصخرية الكبيرة . كما توجد طبقات وعدسات من خامات المنجنيز في الصخور الطينية المتبقية والناتجة من تحلل الصخور

الجيرية المنجنيزية . ويعتقد أن أكاسيد المنجنيز كانت فى الأصل فى حالة غروية ثم تبلورت عقب ترسيبها . وكذلك يوجد المعدن فى عروق الكوارتز والمعادن الفلزية الأخرى .

والبيرولوسيت هو أكثر خامات المنجنيز انتشارا . وأهم الدول المنتجة للمنجنيز هى روسيا وغانا والهند واتحاد جنوب أفريقيا والمغرب والبرازيل وكوبا وبعض ولايات أمريكا . وفى مصر توجد خامات المنجنيز بكميات كبيرة فى شبه جزيرة سيناء بالقرب من خط عرض ٢٩° شمالا والمناطق المحيطة به . كذلك توجد الخامات فى مناطق متفرقة بالصحراء الشرقية بالقرب من ساحل البحر الأحمر جنوب القصير ، وخصوصاً فى وادى معالق وجبل علبة (بالقرب من حلايب فى أقصى الجنوب) وجميع هذه الرواسب تابعة لعصر الميوسين. وفى شبه جزيرة سيناء يوجد الخام فى هيئة عدسات وصفوف عدسية الشكل يتراوح سمكها من ١ إلى ٥ أمتار فى الصخور الجيرية الدولوميتية ، وميناء التصدير لهذه الخامات هو أبو زنيمة على الضفة الشرقية لخليج السويس ، وأهم المناطق التعدينية هى أم بجما . أما فى الصحراء الشرقية فتوجد رواسب خام المنجنيز مع الهيماتيت والكالسيت فى هيئة عروق مالئة للشقوق والفواصل وفى بعض الأحيان تحل هذه الرواسب محل الكونجلوميرات والحصى الجيرى .

والبيرولوسيت أهم خام لعنصر المنجنيز الذى يستعمل فى صناعة الصلب وسبائك النحاس والزنك والألومنيوم .. الخ . ويستخدم المعدن نفسه كمادة مؤكسدة فى صناعة الكلورين والبرومين والأكسجين ، وفى إزالة الألوان من الزجاج وفى صناعة البطاريات الكهربائية . ويستخدم المنجنيز كمادة ملونة فى صناعة الطوب والفخار والزجاج .

كولومبيت [$(Fe, Mn) (Nb, Ta)_2 O_6$]

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم ، نظام الهرم المنعكس . يوجد عادة فى هيئة بلورات منشورية قصيرة أو مسطحة رقيقة .

الصلادة = ٦. الوزن النوعى = ٥,٢ — ٧,٩ ، تزيد بازدياد نسبة أكسيد التانتالوم. الانفصام موازى للمسطوح الجانبى { ٠١٠ } البريق نصف

فلزى . اللون أسود حديدى . المخدش أحمر داكن إلى أسود .

يوجد الكولومبيت فى صخور الجرانيت والبجماتيت حيث يصاحب معادن الكوارتز والفلسبار والميكا والتورمالين والبيريل وسبوديومين وكاسيتريت وسمارسكيت وولفراميت وميكروليت ومونازيت . وأهم مناطق وجوده هى الساحل الغربى لجرينلاند والنرويج وبافاريا وروسيا (جبال إلمين) وغرب استراليا ومدغشقر . ولم يعثر على الكولومبيت بمصر بكميات اقتصادية حتى الآن .

يعتبر الكولومبيت من المعادن الاستراتيجية فى الوقت الحاضر حيث يستعمل كمصدر هام لعنصرى النيوبيوم والتانتالوم اللذين يستخدمان فى صناعة سبائك الصلب التى تستعمل فى الطائرات النفاثة والأجهزة السريعة الحركة والصواريخ . ويستعمل العنصران أيضاً فى الأجهزة الكيميائية والطبية (قطع الغيار فى جراحة العظام ، والصمامات الإليكترونية) . ومن خواص هذين العنصرين قوة مقاومتها للتآكل الحمضى .

يورانينيت (UO_2)

يتبلور المعدن فى فصيلة المكعب . البلورات فى هيئة ثمانى الأوجه ولكنها على العموم نادرة . يوجد الأكسيد فى هيئة كتلية أو عنقودية بحرية أو خفية البلورات تعرف باسم بتشبلند Pitchblende

الصلادة = ٥٫٥ . الوزن النوعى = ٩ — ٩٫٧ (عالى وعميز) ، أما للبتشبلند فيتراوح من ٥٫٦ إلى ٥٫٨ . البريق نصف فلزى إلى مايشبه القار أو معتم . اللون أسود . المخدش أسود بنى .

التركيب الكيميائى : (UO_2) . ويوجد المعدن دائما متأكسدا تأكسدا جزئيا والتركيب الكيميائى الحقيقى يقع بين UO_2 ، U_3O_8 . وعملية الأكسدة هذه تتم تلقائيا وتعرف باسم الأكسدة التلقائية Auto oxidation . ويظهر التحليل الكيميائى للمعدن وجود كميات بسيطة من الرصاص والعناصر النادرة راديوم ، ثوريوم ، إيتريوم ، نيتروجين ، هيليوم ، أرجون . وينتج الرصاص من التفتت الاشعاعى لليورانيوم وإطلاق الاشعاعات المختلفة المعروفة باسم إشعاعات

الفاو بيتا وجاما . وخاصية الاشعاع الذرى من الخواص المميزة لعناصر اليورانيوم والثوريوم والراديوم . ويوجد بالمعدن نظائر (isotopes) الرصاص Pb^{206} الناتج من تفتت U^{238} ، Pb^{205} الناتج من تفتت U^{235} وينطلق مع هذه النواتج يونات الهيليوم (جسيمات ألفا) والبكترونات (جسيمات بيتا). ويوجد الهيليوم دائما فى اليورانينيت. ولما كانت عملية التفتت الاشعاعى تسير بسرعة منتظمة معروفة فإنه يمكن استخدام تجمعات الهيليوم والرصاص الناتجة فى معرفة الزمن الذى مضى منذ تكون معدن اليورانينيت . وأول أكتشاف لعنصر الهيليوم على الأرض كان فى معدن اليورانينيت ، وكان قد لوحظ وجوده من قبل فى طيف الشمس ، وكذلك كتشف الراديوم فى هذا المعدن .

يكشف عن المعدن وكذلك جميع المعادن التى تحتوى على عناصر مشعة بواسمة عدادات جيجر - مولر وغرف التأين ، والاجهزة المماثلة التى تتأثر بالاشعاعات الصادرة . يتميز المعدن ببريقة القارى (pitchy) ووزنه النوعى العالى ولونه وخدشه .

يوجد اليورانينيت كمعدن أولى فى الصخور الجرانيتية والبجماتيتية . أما البتشبلند فإنه يوجد فى العروق المائية الحارة . واليورانينيت والبتشبلند من أهم خامات اليورانيوم . واليورانيوم هو المادة الأساسية فى إنتاج الطاقة الذرية فى الوقت الحاضر ، كما يستخلص الراديوم من هذا المعدن . والدول المنتجة لهذين المعدنين بكميات كبيرة فى الوقت الحاضر هى زائير ، وكندا (بحيرة الدب الأكبر فى الأطراف الشمالية) وتشيكوسلوكيا (يواخيمستال) .

سبينيل ($MgAl_2O_4$)

يتبلور المعدن فى فصيلة المكعب ، نظام سداسى الثمانى الأوجه ، عادة فى بلورات ثمانيه الأوجه . الصلادة = ٨ . الوزن النوعى = ٣٫٥ — ٤٫١ حسب التركيب الكيميائى ، فى حالة التركيب الكيميائى المبين بعالية يساوى الوزن النوعى ٣٫٥٥ . البريق لافازى زجاجى . اللون متغير : أبيض . أحمر لاوند ، أزرق ، بنى ، أسود . المخدش أبيض . نصف شفاف ، وقد يكون شفافا .

سبيفيل من المعادن الشائعة فى الصخور المتحولة حيث يوجد المعدن فى الصخور الجيرية المتبلورة والنيس والسربنتين . ويوجد كذلك كمعدن إضافى فى كثير من الصخور النارية القاعدية . ويتكون المعدن عادة نتيجة للتحول الحرارى حيث يتواجد المعدن مع معادن فلوجوبيت (ميكامغنيسية)، بيروتيت جرافيت ،الخ . ويوجد سبينيل أيضاً كحبيبات مستديرة فى الرمال النهرية حيث قاوم المعدن ـ نتيجة لخواصة الفيزيائية ـ العوامل التحللية والتفتيتية . وتوجد معادن سبينيل الياقوتية بهذه الطريقة حيث تصاحب الأحجار الكريمة من أنواع الكوراندوم فى رمالا سيرلانكا وتايلاند وبورما ومدغشقر . تستعمل الأنواع الشفافة من المعدن كحجر كريم فى صناعة المجوهرات ، ولكن مثل هذه الاحجار ليست مرتفعة الأسعار نسبيا . ويصنع المعدن بطريقة كيميائية حيث تستعمل الأنواع الشفافة (لايفرق الصناعى عن الطبيعى من ناحية الجمال) فى المجوهرات، أما النوع العادى فيستعمل فى صناعة الحراريات Refractories .

ماجنتيت ($FeFe_2O_4$)

يتبلور المعدن فى فصيلة المكعب ، نظام سداسى الثمانى الأوجه ، عادة فى هيئة بلورات ثمانية الاوجه . كذلك يوجد المعدن عادة فى هيئة كتلية خشنة أو دقيقة الحبيبات .

الصلادة = ٦. الوزن النوعى = ١٨ر٥ . البريق فلزى . اللون أسود حديدى . المخدش أسود . ذو مغناطيسية قوية ، وقد يعمل كمغناطيس طبيعى ويعرف فى هذه الحالة باسم لودستون Lodestone أو حجر المغناطيس ، معتم .

التركيب الكيميائى Fe_3O_4 . أو $FeFe_2O_4$. الحديد = ٤ر٧٢ ٪ الأكسجين = ٦ر٢٧ ٪ .لاينصهر . يذوب ببطء فى حامض الهيدروكلوريك ويعطى المحلول التفاعلات الخاصة بايون الحديدوز والحديديك . يتميز المعدن بمغناطيسيته القوية ولونه الأسود وصلادته المرتفعة (٦) .

الماجنتيت من الخامات الشائعة للحديد . يوجد منتشرا كمعدن إضافى فى معظم الصخور النارية وقد يوجد فى بعض الأنواع منها (القاعدية) فى هيئة كتل منفصلة قد تصل إلى أحجام كبيرة وتستغل كخام للحديد ، وتحتوى مثل هذه

الكتل عادة على عنصر التيتانيوم . وقد يوجد المعدن فى الصخور المتحولة المتبلورة والقديمة حيث يوجد المعدن فى هيئة عدسات أو طبقات كبيرة . كذلك يوجد المعدن فى الرمال السوداء على شواطىء البحار ، كما يوجد المعدن فى هيئة بلورات صفائحية أو مجموعات شجرية Dendritic متداخله بين صفائح الميكا . ويوجد المعدن متداخلا مع معدن الكورانديوم Al_2O_3 مكونا المادة المعروفة باسم إميرى Emery .

توجد أضخم رواسب للماجنتيت فى العالم فى شمال السويد حيث يعتقد أنها تكونت بالانفصال من الجما . وكذلك توجد رواسب هامة للمعدن فى النرويج ورومانيا وجبال الأورال . أما الأنواع المغناطيسية القوية فتوجد فى سيبيريا وجبال الهارز Harz وجزيرة علبا Elba وفى منطقة بشفيلد Bushveld بالترنسفال . ويوجد المعدن كذلك فى بعض الولايات الأمريكية . وفى مصر يوجد المعدن فى وادى كريم مختلطا مع الهيماتيت والسيليكا فى طبقات ضمن الصخور المتحولة القديمة . وكذلك يوجد المعدن فى الرمال السوداء عند رشيد (١٥ ٪) ودمياط والعريش .

يستعمل المعدن كخام هام للحديد .

كروميت ($FeCr_2O_4$)

يتبلور المعدن فى فصيلة المكعب . نظام سداسى الثمانى الأوجه . البلورات عادة ثمانية الأوجه ولكنها نادرة . ويوجد عادة فى هيئة كتلية حبيبية أو منضغطة

الصلادة = ٥ر٥ . الوزن النوعى = ٦ر٤ . البريق فلزى إلى نصف فلزى ولكنه غالبا كبريق الزفت Pitchy . اللون أسود حديدى إلى أسود بنى . المخدش بنى داكن . نصف شفاف .

التركيب الكيميائى : $FeCr_2O_4$. أكسيد الحديدوز = ٣٢ر٠ ٪ ، أكسيد الكروميوم : ٦٨ر٠ ٪ ، قد يحل المغنسيوم محل الحديدوز ، والالومنيوم والحديديك محل الكروميوم .

الكروميت من المعادن الشائعة فى صخور البيريدوتيت والسربنتين الناتجة

منها حيث انفصل الكروميت من المجما عند بدء تبلورها ، ويعتقد أن رواسب كبيرة من الكروميت قد تكونت بهذه الطريقة ويصاحب الكروميت معادن الأوليفين والسربنتين والكوراندوم .

وأهم الدول المنتجة للكروميت هى روسيا واتحاد جنوب إفريقيا وتركيا والفلبين وكوبا وروديسيا وألبانيا . ويوجد الكروميت فى جهات متفرقة بالصحراء الشرقية المصرية أهمها منطقة البرامية ورأس السلاطيت حيث يوجد الكروميت فى هيئة عدسات ضمن صخور السربنتين والشست التلكى التابعة لحقب البريكامبرى .

يستعمل المعدن كمصدر لفلز الكروميوم الذى يستعمل فى صناعة الصلب وفى تغطية الفلزات لحفظها ضد التآكل والصدأ . وتستعمل قوالب الكروميت بكميات كبيرة فى تبطين أفران صهر الفلزات وذلك لخواصها الحرارية والمتعادلة . وتتكون هذه القوالب من خام الكروميت وقار الفحم coal tar، أوفى بعض الأحيان من الكروميت المخلوط بالكاولين والبوكسيت أو مواد أخرى . ويستخدم الكروميت أيضاً فى صناعة بعض أنواع البويات الخضراء والصفراء والبرتقالية والحمراء . أما مركبات البيكرومات فإنها تستخدم فى عمليات الصباغة ودبغ الجلود .

الاكاسيد المائية

سوف نصف فيما يلى الأيدروكسيدات الهامة فقط ، وهذه المعادن تكون فى العادة ذات نشأة ثانوية .

مانجانيت (MnO.OH)

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد . نظام المنشور . البلورات معينية كاذبة . وفى العادة توجد البلورات مخططة على أسطح المنشور ، كما توجد مرتبة فى هيئة مجموعات أو حزم (bundles) . التوائم شائعة . الصلادة = ٤ . الوزن النوعى = ٤٫٣ . الانفصام كامل ومواز للسطوح الجانبى {٠١٠} . المعدن الحديث له بريق نصف فلزى ولون أسود حديدى ومخدش بنى أحمر إلى

أسود بنى . أما المعدن المتحلل فلونه أسود رصاصى ومخدشه أسود وبريقه فلزى.

يوجد المعدن فى الطبيعة مع غيره من معادن المنجنيز الأكسيدية والتى لها نفس النشأة . كما يوجد المعدن فى هيئة كاذبة عقب الكالسيت . ويتحلل المعدن بسهولة إلى البيرولوسيت . يوجد فى عروق فى الصخور الجرانيتية وكذلك مالئا للفجوات وحالا محل الصخور المحيطة . يصاحب المعدن غالبا معادن الكالسيت والباريت . وفى مصر يوجد المعدن مختلطا مع معادن المنجنيز المختلفة فى شبه جزيرة سيناء (أما بجا والمناطق التى حولها) والصحراء الشرقية .

جوتيت ($HFeO_2$)

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم ، نظام الهرم المنعكس. البلورات إبرية أو مسطحة كذلك يوجد فى هيئة مجموعات كلوية أو استلاكتيتية ذات بلورات شعاعية الصلادة = ٥ر٥ . الوزن النوعى = ٣٧ر٤ وقد تنخفض إلى ٣ر٣ للمادة غير النقية . الانفصام كامل وموازى للمسطوح الجانبى { ٠١٠ } . البريق ماسى أو معتم أو حريرى فى الأنواع الأليافية أو القشرية . اللون بنى أصفر أو بنى داكن . المخدش بنى أصفر . يتميز المعدن بمخدشه البنى الأصفر . ويفرق عن « الليمونيت » بوجود انفصام فيه وبلوراته الشعاعية وخواصه البلورية . يوجد المركب FeO (OH) فى شكل بلورى آخر . ويسمى المعدن فى هذه الحالة باسم ليبيدوكروسيت الذى يوجد غالباً مع الجوتيت .

الجوتيت أحد المعادن الشائعة حيث يتكون المعدن فى الظروف المؤكسدة نتيجة لتحلل المعادن الحاوية للحديد . كذلك يترسب المعدن مباشرة من محاليل المياه بالوسائل العضوية أو غير العضوية . ويتكون المعدن مع بقية أكاسيد الحديد المائية المعروفة باسم ليمونيت فى الجزء العلوى المعرض للعوامل الجوية من العروق المعدنية ، وتعرف هذه المعادن الحديدية السطحية باسم جوسان gossan أو الغطاء الحديدى Iron hat . ويوجد الجوتيت بكميات كبيرة ضمن رواسب اللاتيريت Laterite . وهى عبارة عن رواسب متبقية من تحلل صخور السربنتين والصخور القاعدية النارية الغنية بالحديد خصوصاً فى المناطق

الاستوائية . كما يوجد الجوتيت فى هيئة بلورات مكعبة (أشكال كاذبة) ناتجة عن تحلل البيريت وإحلال الجوتيت محله .

يوجد الجوتيت فى منطقة الالزاس واللورين مكونا الجزء الأساسى من رواسب الحديد هناك . كذلك يوجد فى بعض مناطق أوروبا الوسطى وفى كورنوول بانجلترا . وتوجد رواسب اللاتيريت بكميات كبيرة وتحتوى على الجوتيت بصفة رئيسية فى بعض مناطق كوبا . كذلك يوجد المعدن فى رواسب الحديد عند بحيرة سوبيريور بولاية متشيجان بأمريكا ، وكذلك فى بعض الولايات الأخرى . وفى مصر يوجد الجوتيت مكونا الجزء كبير من رواسب الحديد بالواحات البحرية مختلطا مع معدن الهيماتيت . كذلك فى الواحات الخارجة فى هيئة أشكال مكعبة كاذبة عقب البيريت . ويوجد المعدن كذلك مكونا لكثير من الصخور الغطائية فى المناطق ذات العروق المعدنية بالصحراء الشرقية .

يستعمل المعدن كخام الحديد .

ليمونيت Limonite $[FeO(OH).nH_2O]$

هذه المادة ليست معدنا بمعنى الكلمة لأنها تتكون من أكثر من معدن . أى أنها مخلوط من عدة أكاسيد حديد ذات نسب متغيرة من الماء . وكذلك قد تحتوى على السليكا والطين وأكاسيد المنجنيز ومواد عضوية . وتوجد فى هيئة كتلية ترابية أو كروية أو استلاكتيتية . اللون بنى أصفر إلى أسود . المخدش بنى أصفر . البريق زجاجى أو معتم . يوجد الليمونيت مع الجوتيت فى الرواسب الغطائية المعروفة باسم جوسان ، والليمونيت ذو نشأة ثانوية يستخدم الليمونيت فى صناعة البويات الصفراء وكذلك كخام للحديد .

بوكسيت (أكاسيد الألومنيوم المائية)

هذه المادة أيضا ليست معدنا بمعنى الكلمة لأنها تتكون من عدة معادن ألومينية مائية (جيبسيت Gibbsite ، بوهيميت Boehmite ، دياسبور Diaspore) اى أن البوكسيت فى الحقيقة عبارة عن صخر .

يوجد البوكسيت فى هيئة كتلية كروية مثل حبات البسلة Pisolitie وكذلك فى كتل ترابية أو طينية الشكل . الصلادة من ١ — ٣ . الوزن النوعى من ٢ إلى

٢ر٥٥ . البريق معتم . اللون أبيض أو رصاصى أو أصفر أو أحمر . يتميز البوكسيت بهيئته الكروية البازلائية (مثل حبات البسلة) Pisolitic .

البوكسيت صخر ذو نشأة ثانوية ويتكون فى المناطق الإستوائية وتحت الإستوائية نتيجة لتحلل الصخور الحاوية الألومنيوم وكذلك الصخور الجيرية الحاوية للطين . ويبدو أنه قد تكون فى الأصل فى حالة غروية .

يوجد البوكسيت بكميات كبيرة فى إقليم بو Baux بفرنسا وغيانا الهولاندية وغيانا البريطانية بأمريكا الوسطى ، وكذلك أندونيسيا وروسيا والمجر وبعض ولايات أمريكا . يستعمل البوكسيت كخام للألومنيوم ، كذلك يستعمل فى تحضير مركبات الألومنيوم ومواد الصنفرة وطوب البوكسيت .

بسيلوميلين Psilomelane (أكاسيد المنجنيز المائية)

هذه المادة أيضا ليست معدنا بمعنى الكلمة لأنها تتكون من عدة أنواع معدنية — كما ثبت ذلك بواسطة التحليل الكيميائى والأشعه السينية — وهذه الأنواع متشابهة جميعاً وكلها من أصل ثانوى وتتواجد مع معادن المنجنيز والليمونيت والباريت . الصلادة تتراوح بين ٥ ، ٦. الوزن النوعى بين ٣ر٧ ، ٤ر٧. البريق نصف فلزى . اللون أسود . المخدش أسود بنى . معادن معتمة .

يوجد البسيلوميلين فى مصر مختلطا مع معادن المنجنيز بشبه جزيرة سيناء (أم بجما والمناطق المحيطة بها) وفى رواسب المنجنيز بالصحراء الشرقية. يستعمل البسيلوميلين كخام للمنجنيز .

معادن الهاليدات

تتميز هذه الطائفة التى تعرف بإسم الهاليدات Halides بسيادة أيونات الهالوجينات ذات الشحنة الكهربائية السالبة وهى F^- ، Cl^- ، Br^- ، I^- وهذه الأيونات ذات حجم كبير ، وشحنة ضعيفة ويسهل استقطابها . وعندما تتحد هذه الأيونات بأيونات كبيرة نسبياً ذات استقطاب ضعيف وتكافؤ منخفض فإن كلا من الكاتيونات والأنيونات يعمل كأجسام كروية كاملة تقريباً ويؤدى تعبئة مثل هذه الكرات المستديرة إلى بنيات لها أعلى تماثل ممكن ، ولذلك نجد أن الهاليت والسيلفيت والفلوريت تتبلور فى نظام المكعب الكامل التماثل (سداسى الثمانى الأوجه) .

وتمثل الهاليدات ميكانيكية الرابطة (bond)الأيونية خير تمثيل . وذلك نتيجة لأن الشحنات الكهربائية الضعيفة منتشرة على جميع أنحاء سطح الأيونات الكروية تقريباً . والهاليدات المكعبة لها صلادة منخفضة ودرجات إنصهار متوسطة أو عالية ، كما أنها موصلات رديئة للحرارة والكهرباء فى الحالة الصلبة ولكنها موصلات جيدة للكهرباء فى حالة السيولة عندما تنصهر .

وعندما تتحد أيونات الهالوجين بكاتيونات أصغر من كاتيونات الفلوات القلوية ولكن أقوى إستقطابا فإنه ينتج بنيات ذات تماثل أقل ، ويكون للرابطة خواص الرابطة المشتركة covalent . ويدخل فى مثل هذه البنيات الماء وشق الايدروكسيد كمكونات رئيسية فى التركيب الكيميائى . كما فى حالة أتاكاميت Atacamite وكارناليت Carnallite .

تضم هذه المجموعة المعادن الآتية : —

هاليت	Halite	$NaCl$	المكعب
سيلفيت	Sylvite	KCl	المكعب
سيرارجيريت	Ceragyrite	$AgCl$	المكعب
فلوريت	Fluorite	CaF_2	المكعب
كريوليت	Cryolite	$Na_3\ AlF_6$	الميل الواحد
أتاكاميت	Atacamite	$Cu_2Cl(OH)_3$	المعينى القائم
كارناليت	Carnallite	$KMgCl_3.6H_2O$	المعينى القائم

هاليت (NaCl)

يتبلور المعدن فى فصيلة المكعب ، نظام سداسى الثمانى الأوجه . الهيئة مكعبية يوجد فى الطبيعة فى هيئة بلورات أو كتل حبيبية متبلورة لها انفصام مكعبى وتعرف بإسم الملح الصخرى Rock salt . كذلك يوجد فى هيئة كتل أرضية حبيبية أو متماسكة . الصلادة = ٢٫٥ . الوزن النوعى = ٢٫١٦ . الانفصام كامل مكعبى { ٠٠١ } البريق زجاجى . شفاف اللون أو أبيض أو يميل إلى الأصفر أو الاحمرار أو الزرقة أو البنفسجى وذلك إذا كان محتويا على بعض الشوائب . المذاق ملحى . شفاف إلى نصف شفاف .

التركيب الكيميائى: كلوريد الصوديوم. الصوديوم=٣٩٫٣٪ ، الكلورين =٦٠٫٧ ٪ . يحتوى عادة على شوائب مثل كبريتات الكالسيوم والمغنسيوم وكلوريدات الكالسيوم والمغنسيوم .

درجة الانصهار = ١٫٥ . ويكسب اللهب لونا أصفر فاقعاً (صوديوم).
يذوب الملح بسهولة فى الماء. ويعطى المحلول الحمضى (بإضافة حامض النيتريك) مع نترات الفضة راسبا أبيضا كثيفا من كلوريد الفضة. يتميز المعدن بانفصامه المكعبى ومذاقه الملحى .

الهاليت معدن واسع الانتشار ، وهناك أربع طرق لوجود المعدن فى الطبيعة :

(١) فى هيئة رواسب ذات سمك كبير وانتشار متسع ، (٢) فى هيئة محلول فى البحار والمحيطات والبحيرات المالحة. (٣) فى هيئة مادة متزهرة فى الأماكن الصحراوية حيث لا يعوض البحر الشديد ما يصل إلى المحلول الملحى من مياه أرضية مذاب فيها الملح ، مثل الرواسب الملحية الموجودة فى صحارى أفريقيا وشيلى وبالقرب من بحر قزوين . (٤) كمادة متسامية تكتشفت حول فوهات البراكين.

يوجد الهاليت فى الرواسب الملحية مصاحبا معادن الجبس والأنهيدريت والطين والدولوميت . وتوجد هذه الرواسب فى الصخور الرسوبية لجميع العصور الجيولوجية . ويعتقد أن هذه الرواسب قد تكونت بانفصال أجزاء من مياه البحر نتيجة لتكون حاجز يفصل بين الخليج المتكون والبحر ، ثم بواسطة التبخير بدأت الأملاح تتركز فى المحلول ويهبط المحلول المالح إلى القاع (نتيجة لثقله) ويتعرض الجزء العلوى للبخر ، وتتركز الأملاح ، وهكذا ، حتى وصل المحلول إلى درجة التشبع ، وفى هذه الحالة تترسب المعادن الأقل ذوبانا وتبدأ بكبريتات الكالسيوم ثم يليها كلوريد الصوديوم وهكذا . فإذا كان الخليج على اتصال بالبحر عن طريق فجوة فى الحاجز ، وفد إلى الخليج تموين جديد من مياه البحر لتعويض الفاقد بالتبخير وتستمر عملية الترسيب لتكون رواسب ذات سمك كبير . أما إذا ارتفع الحاجز ليقفل الخليج كلية فإن ماء الخليج يتبخر كله ، وتنتهى عملية الترسيب بالاملاح الاكثر ذوبانا مثل مركبات المغنسيوم والبوتاسيوم التى تترسب فى النهاية فى هيئة مركبات معقدة .

يترسب الهاليت فى مصر فى الملاحات الكثيرة المنتشرة على ساحل البحر المتوسط

عند الإسكندرية ورشيد وبور سعيد ، وكذلك يترسب الهاليت مع الرواسب الملحية في وادي النطرون . ويوجد المعدن أيضاً مختلطاً مع معادن الجبس والانهيدريت التابعة لعصر الميوسين والمنتشرة على ساحل البحر الاحمر، كذلك يوجد المعدن كمادة متزهرة قشرية في بعض المنخفضات في الصحراء الغربية .

يستعمل الهاليت بكميات كبيرة في الاغراض المنزلية وفي صناعة منتجات الالبان وحفظ اللحوم والاسماك . ويستهلك حوالي ٧٠ ٪ من الإنتاج السنوي للمعدن في الصناعات الكيميائية لإنتاج الصوديوم ومركباته والكلورين والمساحيق المبيضة ... الخ . وتستعمل كربونات الصوديوم بكميات كبيرة في صناعة الزجاج والصابون، بينما تستعمل بيكربونات الصوديوم في الطهي وصناعة الخبز والطب، أما سيانيد الصوديوم فيستعمل في طريقة السيانيد لإستخلاص الذهب .

سيلفيت (KCl)

يتبلور المعدن في فصيلة المكعب، نظام سداسي الثماني الاوجه، يغلب وجود شكلي المكعب وثماني الاوجه مجتمعين . يوجد عادة في هيئة كتل حبيبية متبلورة تبين الانفصام المكعبي . والبناء الذري لسيلفيت يشبه بناء كلوريد الصوديوم، ولكن نظراً لإختلاف نصف قطر أيون البوتاسيوم (١٫٣٣ A) عن نصف قطر أيون الصوديوم (٠٫٩٧ A) فإن المحاول الجامد Solid Solution بين المركبين قليل . الصلادة = ٢ . الوزن النوعي = ١٫٩٩ . الانفصام مكعبي كامل {١٠٠} شفاف في الحالة النقية . عديم اللون أو أبيض . ولكن قد يكون ملونا بألوان مائلة للزرقة أو الاصفرار أو الاحمرار تبعاً لنوع الشوائب الموجودة . يذوب في الماء بسهولة . المذاق ملحي ولكنه أكثر مرارة من الهاليت .

يتميز المعدن عن الهاليت بتلوينه اللهب باللون البنفسجي ، وبمذاقه الاكثر مرارة .

للسيليفيت نفس طريقة النشأة وأماكن الوجود والمعادن المصاحبة مثل الهاليت ولكنه أكثر ندرة منه . ويبقى السيلفيت في المحاول المشبع الى مابعد تبلور الهاليت حتى يترسب مع المعادن المتأخرة في التبلور . يوجد المعدن في

رواسب الأملاح بمنطقة ستاسفورت بألمانيا ، وفى رواسب أملاح العصر البرمى بولايتى نيومكسيكو وتكساس بامريكا ، وفى بعض الرواسب الملحية بالاتحاد السوفيتى . يعتبر السيلفيت أهم مصدر لمركبات البوتاسيوم التى تستعمل بكثرة فى أغراض التسميد .

سيرارجيريت ($AgCl$)

يتبلور المعدن فى فصيلة المكعب ، نظام سداسى الثمانى الأوجه . الهيئة مكعبية ولكن البلورات نادرة . يوجد غالبا فى هيئة كتلية مثل الشمع ، كذلك يوجد فى هيئة قشور ورقائق . الصلادة = ٢ — ٣ . الوزن النوعى = ٥و٥ . سهل التقشير . شفاف أو نصف شفاف . اللون رمادى لؤلؤى أو عديم اللون . يتغير لونه بسرعة إلى البنى المائل إلى بنفسجى عند تعرضه للضوء .

يعتبر سيرارجيريت خاما ثانويا هاما لخام الفضة . ويوجد فقط فى نطاق الأثراء enrichment العلوى لعروق الفضة ، حيث تفاعلت المياه الأرضية المحملة بقليل من الكلورين مع نواتج عملية الأكسدة للخامات الأولية للفضة فى العرق . يصاحب سيرارجيريت معادن الفضة الأخرى ، والفضة العنصرية ، والسيروسيت ، والمعادن الثانوية بصفة عامة .

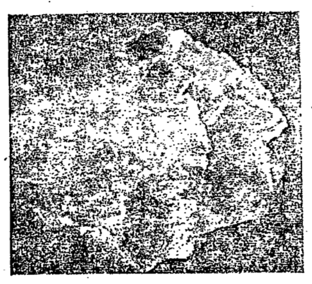
فلوريت (CaF_2)

يتبلور المعدن فى فصيلة المكعب ، نظام سداسى الثمانى الاوجه . يوجد فى هيئة مكعبات ، شكل (١٩٤) . غالباً توأمية حسب القانون {١١١} وتنتج توائم متداخلة . يوجد المعدن غالباً فى هيئة بلورات مكعبية ، شكل (١٩٤) ، أو كتل ناتجة من الانفصام . كذلك يوجد فى هيئة كتلية دقيقة أو خشنة الحبيبات وكذلك فى هيئة مجموعات عمدانية .

الصلاده = ٤ . الوزن النوعى = ١٨ر٣ . الانفصام كامل {١١١} . شفاف أو نصف شفاف . البريق زجاجى . اللون يختلف كثيراً والالوان الأكثر إنتشارا هى الاخضر الفاتح أو الاصفر أو الاخضر المائل إلى الورقة

أو الارجوانى ، كذلك توجد أنواع شفافة أو بيضاء أو ورديه أو زرقاء أو خضراء، وقد تكون البلورة الواحدة ذات ألوان عدة مرتبة فى هيئة صفوف، ولبعض البلورات خاصية التلفر fluorescence التى اشتقت اسمها من إسم المعدن.

التركيب الكيميائى : فلوريد الكالسيوم (CaF_2) . الكالسيوم = ٥١٫٣ ٪ . الفلورين = ٤٨٫٧ ٪ .



شكل (١٩٤) بلورات فلوريت مكعبية الشكل

درجة انصهار المعدن = ٣ . يلون اللهب بلون أحمر (كالسيوم) . إذا سخن مخلوط المعدن مع بيكبريتات البوتاسيوم فى أنبوبة زجاجية تصاعد غاز حامض الهيدروفلوريك الذى « يأكل » etches فى زجاج الانبوبة وينتج عن ذلك ترسيب راسب أبيض من السليكا على جدار الأنبوبة .

يمكن التعرف على المعدن عادة ببلوراته المكعبة وانفصامه الثمانى الاوجه ، كذلك ببريقه الزجاجى وألوانه المميزة وخدشه بالمبراة .

الفلوريت من المعادن الشائعة الواسعة الانتشار . فقد يوجد المعدن فى العروق مكونا معظمها ، أو مكونا المعدن الارضى فى العروق الحاوية للخامات الفلزية خصوصا العروق الفضية والرصاصية ، كذلك يوجد المعدن فى الصخور

الجيرية والدولوميتية، كما يوجد كمعدن إضافى قليل فى بعض أنواع الصخور النارية والبجماتيت. يصاحب المعدن عادة معادن كثيرة مختلفة مثل الكالسيت والدولوميت والجبس والسيليستيت والباريت والكوارتز والجالينا وسفاليريت وكاسيتريت والتوباز والتورمالين والأباتيت .

يوجد المعدن بكميات متوفرة فى إنجلترا (كمبر لاند . دربى شاير ، دزهام) وفى مناجم سكسونيا وفى سويسرا والتيرول وبوهيميا والنرويج وبعض ولايات أمريكا . وأهم المناطق التى يوجد فيها المعدن فى مصر هى العجلى والعنيجى بالصحراء الشرقية ، حيث يوجد المعدن فى هيئة عروق أو أجسام عدسية الشكل فى صخور الجرانيت والديوريت كذلك يوجد المعدن كمعدن أرضى فى العروق الحاملة للقصدير والتنجستن فى مناطق أبو دباب ونويبع والمويلحة وزرقة النعام .

يستعمل الفلوريت أساسياً كمادة صاهرة flux فى صناعة الصلب ، كذلك يستعمل فى صناعة الزجاج الأوبالى . وفى طلاء أدوات الطهى ، وفى تحضير حامض الهيدروفلوريك . وتستخدم كميات بسيطة من المعدن البصرى (النوع الشفاف الخالى من العيوب) فى صناعة العدسات والمنشورات prisms التى تستعمل فى الأجهزة البصرية .

كريوليت (Na_3AlF_6)

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد، نظام المنشور . البلورات نادرة وغالباً يوجد المعدن فى هيئة كتلية . الصلادة = ٢٫٥ . الوزن النوعى = ٢٫٩٥ إلى ٣ . يوجد بالمعدن مستويات انفصال فى ثلاثة اتجاهات متعامدة تقريباً . البريق زجاجى أو شحمى شفاف أو أبيض مثل الثلج . يشبه المعـــدن شمع البرافين نظراً لإنخفاض معامل انكساره الذى يقرب من معامل انكسار الماء. ولذلك فإن مسحوق المعدن يختفى تقريباً إذا وضع فى الماء .

يوجد المعدن بكميات كثيرة فى جرينلاند (منطقة إيفيجتوت على الساحل الغربى) فى هيئة عروق فى الجرانيت حيث يصاحب المعدن معادن سيدريت

وجالينا و - فاليريت وكالكوبيريت . يستخدم المعدن كادة صاهرة فى الصناعات الفلزية .

اتاكاميت $[Cu_2Cl(OH)_3]$

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم ، نظام الهرم المنعكس . البلورات عادة ذات هيئة منشورية رفيعة ومخططة رأسيا ، كما توجد بلورات فى هيئة نضدية (مسطحة) موازية للسطوح الجانبى . يوجد المعدن عادة فى مجموعات متبلورة اليافية أو حبيبية (مثل الرمل) الصلادة = ٣ - ٣½ . الوزن النوعى = ٣٫٧٥ — ٣٫٧٧ . الانفصام كامل وموازى للسطوح الجانبى { ٠١٠ } . البريق الماسى أو زجاجى . اللون أخضر شفاف أو نصف شفاف . ويفرق المعدن عن الملاكيت بعدم فورانه مع حامض الهيدروكلوريك .

أتاكاميت معدن نحاسى نادر الوجود نسبيا . يوجد فى هيئـــة رمال فى مقاطعة أتاكاما بجمهورية شيلى ، كما يوجد فى المناطق الجافة كمعدن ثانوى فى نطاق الاكسدة لرواسب النحاس . ويوجد المعدن مصاحبا خامات النحاس الأخرى فى مناطق شيلى ، وفى بوليفيا ، والمكسيك ، وأستراليا ، وولاية أريزونا بأمريكا . وفى مصر يوجد الأتاكاميت مع معادن النحاس فى منطقة حمش بجنوب الصحراء الشرقية وفى سيناء . يستخدم المعدن كخام بسيط للنحاس .

كارنالت $(KMgCl_3.6H_2O)$

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم . نظام الهرم المنعكس . البلورات نادرة ويوجد عادة فى هيئة كتلية أو حبيبية . الصلادة = ١ . الوزن النوعى = ١٫٦ . البريق لا فلزى ، لامع أو شحمى . اللون أبيض مثل اللبن ولكنه يكون عادة مائلا للاحمرار نتيجة لوجود مكتنفات من الهيماتيت . شفاف أو نصف شفاف . المذاق مر . يمتص الماء .

يوجد المعدن مصاحبا هاليت وسيلفيت ، وغيرهما من الأملاح ، فى الرواسب الملحية بمنطقة ستاسفورت بألمانيا . وكذلك فى بعض الولايات الأمريكية . يستعمل المعدن كمصدر لمركبات البوتاسيوم والمغنسيوم .

المعادن الكربوناتية

(والنتراتية والبوراتية)

عندما يتحد الكربون بالأكسجين ، يكون له رغبة قوية فى الارتباط بذرتين من الأكسجين وذلك بمشاركته لاثنين من اليكتروناته الأربعة مع كل من ذرتى الأكسجين ويكون وحدة كيميائية مستقرة هى جزىء ثانى أكسيد الكربون. وفى الطبيعة يتحد الكربون بالأكسجين أيضاً ليكون أيون الكربونات CO_3^{2-} ولما كانت نسبة نصف قطر الكربون إلى نصف قطر الأكسجين تساوى ٠٫١٢١ فإن هذا يتطلب أن يكون عدد أيونات الأكسجين التى تتناسق Coordinate حول أيون الكربون يساوى ثلاثة . ولما كانت شحنة الكربون ٤ (+) فى حين أن شحنة الأكسجين تساوى ٢ (—) فإن هذا يؤدى إلى ارتباط ثلاث ذرات أكسجين بذرة الكربون برباط مشترك قوى ، وتنتج وحدات بنائية مستقلة (فى شكل مثلث) هى الكربونات ذات شحنتين كهربائيتين سالبتين . وتكون هذه المجموعة الكربوناتية ،المثلثية الشكل والمسطحة . الوحدات البنائية الأساسية فى جميع معادن الكربونات . وهى المسئولة إلى حد كبير عن وجود الخواص المميزة لمعادن هذا القسم .

والرابطة التى تربط بين الكربون والأكسجين فى أيون الكربونات ولو أنها قوية إلا أنهـــا ليست بمثل القوة التى للرابطة المشتركة بين الكربون والأكسجين فى جزىء ثانى أكسيد الكربون . وفى وجود أيون الايدروجين يصبح شق الكربونات غير مستقر وينهار ليعطى ثانى أكسيد الكربون والماء . وعدم الاستقرار هذا هو سبب التفاعلات المصحوبة بفوران عند اختبار الكربونات بالأحماض .

وعندما تتحد مجموعات الكربونات بكاتيونات ثنائية التكافؤ لها نصف قطر يجعل عدد التناسق يساوى ٦ ، فإن هذا يؤدى إلى بناء ذى تماثل هندسى بسيط. وفى مثل هذا البناء ، الذى يمكن أن نطلق عليه نمط الكالسيت Calcite type تتبادل رقائق كاتيونات الفلز مع أنيونات الكربونات . ويمكن أن ننظر

إلى الكالسيت على أن بناءه فى شكل نمط بناء كلوريد الصوديوم المشوه ، حيث استبدلت ذرات الصوديوم بذرات الكالسيوم وذرات الكلورين بالكربونات، ونتخيل مكعب كلوريد الصوديوم وقد رفع رأسيا على أحد محاوره التماثلية الثلاثية . ثم ضغط على طول هذا المحور حتى تعمل الأوجه مع بعضها البعض زوايا مقدارها ٥٥َ ٧٤° بدلا من ٩٠° فى المكعب . وفى هذه الحالة يصبح المحور الرأسى هو المحور الثلاثى الوحيد فى بلورة الكالسيت ويتعامد على الرقائق المتبادلة من أيونات الكالسيوم والكربونات . ويؤدى شكل أيونات الكربونات المسطحة التى حلت محل أيونات الكلورين الكروية إلى الهبوط بالتماثل البلورى من المكعب فى الهاليت إلى معينى الأوجه فى الكالسيت. ويلاحظ أن الانفصام المميز لمعادن مجموعة الكالسيت ، مثل انفصام الهاليت ، يوازى المستويات الأكثر ابتعاداً عن بعضها البعض ، والآهلة بالذرات ، ولكن نظرا للتماثل الأدنى فإن الانفصام يكون معينى الأوجه وليس مكعبيا .

وبالرغم من أن الرابطة التى تربط الكربون بالأكسجين فى شق الكربونات هى من النوع المشترك القوى ، فإن الرابطة التى تربط الكربونات كلها (كأيون ذى شحنتين) بأيونات الفلز هى من النوع الأيونى البسيط (electrovalent) وأن خواص معادن مجموعة الكالسيت تتحكم فيها وتظهرها إلى درجة كبيرة أيونات الفلز . فمثلا ، يتناسب الوزن النوعى لمعظم معادن المجموعة تناسبا طرديا مع الوزن الذرى للكاتيون . والاستثناء الوحيد هو المغنسيوم ، الذى له حجم صغير جداً نسبيا يجعله أكثر تعبئة ، وعلى ذلك تكون كربوناته — معدن الماجنزيت — أعلى كثافة من كربونات أيون الكالسيوم الأثقل ذريا ولكن أكبر حجما .

ونظرا لأن جميع أفراد مجموعة الكالسيت متشابهة البناء ، فإن خاصية الإستبدال (الإحلال) تكون ممكنة بين أيونات الفلزات ، وذلك فى حدود أحجامها النسبية. فمثلا أيون الحديدوز (٠٫٧٤ A) ، وأيون المنجنيز الثنائى التكافؤ (٠٫٨٠ A) ، وأيون المغنسيوم (٠٫٦٦ A) يمكن أن تحل محل بعضها البعض وتنتج موادا وسطا فى التركيب الكيميائى بين المركبات النقية : سيدريت (كربونات الحديدوز) ، رودوكروزيت (كربونات المنجنيز)،

ماجنزيت (كربونات المغنسيوم)، وتتغير خواصها الفيزيائية تبعا لنسبة كمية كل من هذه الأيونات الثلاثة. أما إحلال هذه الأيونات محل الكالسيوم فليس كاملا — كما هو الحال فيما بينها — وذلك نتيجة لكبر حجم أيون الكالسيوم (٠٫٩٩ A).

أما إحلال الكالسيوم محل المغنسيوم أو المغنسيوم محل الكالسيوم فهو شيء صعب بصفة خاصة، وذلك بسبب الفرق الكبير بين نصف القطرين (٣٣٪). فإذا أجريت محاولة لإنماء بلورات الماجنزيت أو الكالسيت فى وجود وسط ذى تركيز عال من أيونات الكالسيوم والمغنسيوم. فإننا لانحصل على محلول جامد Solid Solution، بل تنتج بلورات طبقية مكونة من رقائق من أيونات الكربونات متبادلة مرة مع رقيقة من أيونات المغنسيوم ومرة أخرى مع رقيقة من أيونات الكالسيوم. وهذا البناء هو معدن الدولوميت، وهو يعتبر مثلا جيدا لتكوين الأملاح المزدوجة. وعلى ذلك فبناء الدولوميت مشابه لبناء الكالسيت حيث توجد طبقات أو رقائق الكاتيونات المتعامدة على المحور حـ متبادلة مع طبقات أيونات الكربونات، ولكن طبقات الكاتيونات هذه فى الدولوميت تتكون من الكالسيوم والمغنسيوم بالتبادل.

وعندما يتحد أيون الكربونات مع أيونات كبيرة ثنائية التكافؤ. فإن نسبة نصفى القطرين لا تسمح بعدد التناسق ٦ المستقر. وينتج بناء آخر معينى قائم. وهذا هو نمط بناء الأراجونيت.

ويلاحظ أن المحاليل الجامدة فى مجموعة الأراجونيت محدودة بعض الشيء إذا قورنت بتلك الموجودة فى مجموعة الكالسيت. ومما هو جدير بالاهتمام أن الكالسيوم والباريوم، أصغر الأيونات وأكبرها على التوالى فى المجموعة، يكونان ملحا مزدوجا مشابها للدولوميت. واختلاف الخواص الفيزيائية بين معادن مجموعة الأراجونيت يعزى — إلى حد كبير — إلى الكاتيونات. فمثلا، يتناسب الوزن النوعى تناسبا طرديا تقريبا مع الوزن الذرى لأيون الفلز.

ويمكن تصنيف المعادن الكربوناتية لسهولة البحث والدراسة إلى الاقسام التالية: —

١ — كربونات عادية لامائية .

٢ — كربونات عادية مائية.

٣ — كربونات تحتوى على الهيدروكسيد

كربونات عادية لامائية

١ — مجموعة الكالسيت

كالسيت	Calcite	$CaCO_3$	الثلاثى
ماجنيزيت	Magnesite	$MgCO_3$	الثلاثى
سيدريت	Siderite	$FeCO_3$	الثلاثى
رودوكروزيت	Rhodochrosite	$MnCO_3$	الثلاثى
سميثسونيت	Smithsonite	$ZnCO_3$	الثلاثى

ب — مجموعة الأراجونيت

أراجونيت	Aragonite	$CaCO_3$	المعينى القائم
ويذريت	Witherite	$BaCO_3$	المعينى القائم
سترونشينيت	Strontianite	$SrCO_3$	المعينى القائم
سيروسيت	Cerussite	$PbCO_3$	المعينى القائم

جـ — مجموعة الدولوميت :

دولوميت	Dolomite	$CaMg(CO_3)_2$	الثلاثى

٢ — كربونات عادية مائية

نطرون	Natron	Na_2CO_3-IO H_2O	الميل الواحد

٣ — كربونات تحتوى على الهيدروكسيد

ملاكيت	Malachite	$Cu_2CO_3(OH)_2$	الميل الواحد
أزوريت	Azurite	$Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$	الميل الواحد

١ — كربونات عادية لامائية

(ا) مجموعة كالسيت

تتكون هذه المجموعة من كربونات عناصر الكالسيوم والمغنسيوم والحديد (ثنائى التكافؤ) والمنجنيز والونك التى تتبلور فى فصيلة الثلاثى ، نظام المثلثات الوجهية الثلاثية المزدوجة. وتنفصم هذه المعادن كلها انفصاما معينى الأوجه كاملا. وتختلف الزاوية بين مستويات الانفصام من ٧٢° إلى ٧٥° . وتعتبر هذه المجموعة مثالا لمجموعات المعادن ذات التشابه البنائى Isostructural .

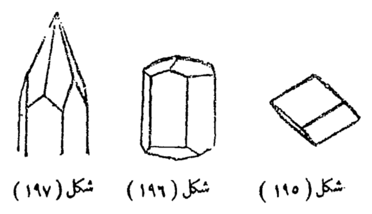
كالسيت $(CaCO_3)$

يتبلور المعدن فى فصيلة الثلاثى . نظام المثلثات الوجهية الثلاثية المزدوجة ، وتوجد البلورات فى هيئات كثيرة متعددة (وصف أكثر من ٣٠٠ شكل بلورى) وأهم هذه الهيئات الأنواع الثلاثة التالية .

١ — هيئة معينية الأوجه ، حيث توجد الأشكال المعينية الأوجه بصفة رئيسية. وكلا النوعين — المفلطح والحاد — كثير الانتشار، شكل (١٩٥) .

٢ — هيئة منشورية ، منشورات قصيرة أو طويلة ، أهم شكل فيها هو المنشور ، شكل (١٩٦) ، وقد ينتهى بالمسطوح القاعدى أو بمعينى الأوجه .

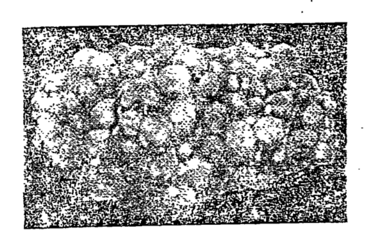
٣ — هيئة المثلثات الوجهية ، حيث توجد الأشكال المثلية الأوجه بصفة غالبة ، شكل (١٩٧) .



شكل (١٩٥)　　شكل (١٩٦)　　شكل (١٩٧)

وتوجد جميع المجموعات الشكلية الممكنة على البلورات فى الطبيعة .

توجد بعض البلورات توأمية . قد يكون مستوى التوأم { ٢١١٠ } أو { ١٠٠٠ } أو { ١٠١ ١ } فى حالات قليلة .



شكل (١٩٨) : كالسيت بطروخى

ويوجد الكالسيت فى الطبيعة فى هيئة بلورات ، وكذلك فى هيئة كتلية حبيبية أو متماسكة أو ترابية أو بطروخية ، شكل (١٩٨) .

الصلادة = ٣ . الوزن النوعى=٢٫٧٢ . الانفصام كامل وموازى لمعينى الأوجه { ١٠١ ١ } (زاوية الانفصام =٥٥َ ٧٤°) . ينفصل المعدن فى مستويات التوائم الصفحية { ٢١١٠ } . البريق زجاجى أو معتم . اللون عادة أبيض أو شفاف ، ولكنه قد يكون مائلا إلى الرمادى ، أو أحمرا أو أزرقا ، أو أخضرا أو أصفرا . كذلك قد يكون اللون بنيا أو أسودا ، وذلك عندما يكون المعدن غير نقى . شفاف أو نصف شفاف . يظهر المعدن خاصية الانكسار المزدوج بوضوح . تعرف الأنواع الشفافة النقية كيميائيا وبصريا باسم أيسلاند سبار Icelandspar نسبة إلى وجود هذا النوع فى أيسلنده .

التركيب الكيميائى : كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ أكسيد الكالسيوم = ٥٦٫٠ ٪ ، ثانى أكسيد الكربون = ٤٤٫٠ ٪ ، قد يحل المنجنيز والحديد (ثنائى التكافؤ) محل الكالسيوم ، وتوجد متسلسلة كاملة بين الكالسيت ورودوكروزيت ، ومتسلسلة جزئية بين الكالسيت وسميثسونيت ويحل المغنسيوم

محل الكالسيوم ولكن بكميات بسيطة . يتفاعل المعدن بفوران مع حامض الهيدروكلوريك المخفف البارد .

يتميز المعدن بصلادته (٣) وانفصامه الكامل ولونه الفاتح وبريقة الزجاجى . يفرق المعدن عن الدولوميت بتفاعله وحدوث فوران مع حامض الهيدروكلوريك المخفف البارد فى حين لا يتفاعل الدولوميت . ويفرق المعدن عن الأراجونيت بوزنة النوعى الأقل ، وانفصامه المعين الأوجه ، واختبار « ميجن » الكيميائى Meigen's test ، وهو عبارة عن غلى مسحوق المعدن فى محلول نترات الكوبالت فنجد أن الكالسيت لا يتغير لونه أو يتحول إلى أصفر باهت ، فى حين يتخذ معدن أراجونيت لونا أحمرا Lilac—red .

الكالسيت أحد المعادن الشائعة والواسعة الانتشار فى الطبيعة . ويمكن تصنيف الأنواع المختلفة من الكالسيت حسب وجودها فى الطبيعة إلى الأقسام التالية :

(١) الكالسيت العادى (٢) الأحجار الجيرية (٣) الطباشير والطفل الجيرى ، (٤) رواسب الينابيع والكهوف الجيرية (٥) الرخام ، (٦) معدن إضافى فى بعض أنواع الصخور النارية . (٧) معدن أرضى فى العروق المائية الحارة .

(١) الكالسيت العادى : تشمل هذه المجموعة البلورات المختلفة ذات الانفصام الواضح ومن أمثلتها : معدن أسنان الكلب Dog-teeth Spar (مثلثات وجهية) ، أيسلاند سبار Icelandspar (شفاف) ، ساتنسبار Satinspar (ألياف) .

(٢) الأحجار الجيرية : الكالسيت هو المعدن الرئيسى المكون للصخور الجيرية الشائعة الوجود فى الكرة الأرضية ، وهى صخور كتلية مصمتة متماسكة قد تكون حبيباتها خشنة أو دقيقة أو مكونة من قطع مكسرة . ومن أنواع الصخور الجيرية : الصخور الجيرية المتماسكة Compact ، والصخور الجيرية المغنيسية أو الدولوميتية ، والصخور الجيرية المائيه (تحتوى على ١٠ — ١٤ ٪ ماء) والتى تستعمل بكثرة فى صناعة الاسمنت ، والصخور الجيرية الليثوجرافية

(دقيقة الحبيبات ومناسبة فى بعض أغراض الطباعة) ، والصخور الجيرية البتوميئية Bituminous التى تحتوى على نسبة من المواد العضوية ، والصخور الجيرية الصدفية المعروفة بإسم كوكينا Coquina وهى عبارة عن كتل من بقايا أصداف الحيوانات وقد تماسكت ، والصخور الجيرية البطروخية ، والصخور الجيرية البازلائية pisolitic وحبيباتها مستديرة فى حجم حبات البازلاء (البسلة).

(٣) الطباشير والطفل الجيرى : وهى عبارة عن صخور رخوة ترابية الهيئة أما الطباشير فيتكون من بقايا أصداف تعرف بإسم فورامينفرا ، وأما الطفل الجيرى Marl فإنه يتكون من مخلوط من الجير والطين والرمل .

(٤) رواسب الينابيع والكهوف الجيرية : وهذه ناتجة من فقدان غاز ثانى أكسيد الكربون من المحاليل الحاملة له ، وينتج عن ذلك تحول بيكربونات الكالسيوم الذائبة إلى كربونات كالسيوم غير قابلة للذوبان فى الماء ، فترسب فى هيئة أنواع مختلفة من رواسب الكالسيت أهمها :

(أ) الترافرتين والسنتر الجيرى والتوفا الجيرية ، وهى عبارة عن رواسب مسامية قد تحوى بعض أوراق أو زهور النباتات أو بقايا عضوية أخرى ، وتترسب حول الينابيع أو على جانبى الجداول والمياه الجارية .

(ب) الاستلاكتيت والاستلاجميت ، وهى الرواسب الجيرية العمدانية المخروطية الشكل المتدلية من سقوف الكهوف أو القائمة على أرضيتها .

(ج) الالاباستر المصرى Egyptian Alabaster راسب جيرى ذو العروق والصفوف المتموجة بين الأبيض ولون عسل النحل (تطلق كلمة ألاباستر فى الدول الغربية على نوع من أنواع الجبس) . وقد تكون فى الكهوف ومستويات الصدوع فى الحجر الجيرى الطباشيرى الايوسينى .

(٥) الرخام يوجد الكالسيت فى هيئة حبيبات دقيقة أو خشنة فى هذه الصخور الجيرية المتبلورة بالتحول الحرارى .

(٦) فى الصخور النارية : قد يوجد الكالسيت فى حالات قليلة كمعدن غير أساسى أولى ، أو أساسى فى حالات نادرة (صخور الكربوناتيت) ؛ ولكن فى كثير من الحالات ينتج المعدن فى الصخور النارية كمعدن ثانوى ناتج من تحلل بعض المعادن الحاوية للكالسيوم بواسطة العوامل الجوية .

(٧) في العروق المائية الحارة: يوجد الكالسيت كمعدن أرضي في بعض أنواع العروق الحاملة للخامات المعدنية ، ويكون في هذه الحالة في هيئة بلورات.

وفي مصر يوجد الحجر الجيري بكميات كبيرة في أنحاء متعددة من الجمهورية . ويستعمل في أغراض البناء وكخام يدخل في صناعة الأسمنت. أما الرخام والألاباستر فيستغل من عدة محاجر عند إدفو وبني سويف واسيوط واجران الفول وبعض المناطق بالصحراء الشرقية .

وتوجد بعض عروق الكالسيت في الصحراء الشرقية ، ولكن بلوراتها ليست من النوع الشفاف الذي يستعمل في الأغراض البصرية .

ماجنيزيت ($MgCO_3$)

يتبلور المعدن في فصيلة الثلاثي ، نظام المثلثات الوجهية الثلاثية المزدوجة . يندر وجود البلورات . يوجد المعدن عادة في هيئة كتلية مجهرية التبلور ترابية بيضاء . الصلادة = ٣٫٥ — ٤٫٥ . الوزن النوعي = ٣ — ٣٫٢ . الانفصام معيني كامل {١٠١̅١} ، زاوية الانفصام = ٣٥َ ٧٢° . البريق زجاجي . اللون أبيض أو رصاصي أو أصفر أو بني شفاف أو نصف شفاف .

التركيب الكيميائي : كربونات المغنسيوم $MgCO_3$. أكسيد المغنسيوم = ٤٨٫٨ ٪ ، ثاني أكسيد الكربون = ٥٢٫٢ ٪ ، يحل الحديد (ثنائي التكافؤ) محل المغنسيوم وتوجد متسلسلة كاملة متشابهة الأشكال بين الماجنيزيت والسيدريت ، قد يحتوي المعدن أيضاً على كميات بسيطة من الكالسيوم والمنجنيز . لايذوب المعدن في الحامض البارد ولكنه يذوب بفوران شديد في الحامض الساخن .

يوجد الماجنيزيت عادة في العروق الناشئة من تحلل معدن السربنتين بواسطة المياه الحاملة لثاني أكسيد الكربون . ومعظم هذه الرواسب كتلية متماسكة وفي هيئة غروية وتحتوي عادة على رواسب سيليكية . أما النوع المتبلور من الماجنيزيت فيعتقد أنه قد تكون بالترسيب والإحلال محل الصخور الجيرية والدولوميتية حيث حل المغنسيوم محل الكالسيوم .

توجد رواسب ضخمة من الماجنزيت المتباور فى منشوريا وفى جبال الأورال وفى النمسا . أما رواسب النوع التراب الجهرى التباور فتوجد فى جزيرة إيوبويا Euboea باليونان . يوجد الماجنزيت فى مصر فى مناطق مختلفة بالصحراء الشرقية مصاحبًا صخور السربنتين حيث نشأ المعدن منها بالتحال ، وأهم هذه المناطق : البرامية وجبل الميت وجبل الجرف بالصحراء الشرقية .

يستخدم الماجنزيت فى صناعة الطوب المغنيزى الحرارى الذى يستعمل فى تبطين أفران صهر الفلزات من الداخل . وكذلك يستعمل المعدن فى صناعة أملاح المغنسيوم ، كما أن المعدن مصدر لعنصر المغنسيوم .

سيدريت ($FeCO_3$)

يتبلور المعدن فى فصيلة الثلاثى . نظام المثلثات الوجهية الثلاثية المزدوجة توجد البلورات المعينية الأوجه . يوجد المعدن كذلك فى هيئة كرات مستديرة أو حبيبات أو عنقودى أو متماسك أو ترابى . الصلادة = ٣٫٥ — ٤ . الوزن النوعى = ٣٫٩٦ (للمعدن النقى) ولكنها تقل بوجود المنجنيز (ثانى التكافؤ) والمغنسيوم . الانفصام معينى كامل { ١٠١̄١ } (زاوية الانفصام = ٧٣°) البريق زجاجى . اللون بنى فاتح إلى داكن . شفاف أو نصف شفاف . المخدش أبيض أو مائل للاصفرار .

التركيب الكيميائى : كربونات الحديدوز ($FeCO_3$) . أكسيد الحديدوز = ٦٢٫١ ٪ ، ثانى أكسيد الكربون = ٣٧٫٩ ٪ الحديد = ٤٨٫٢ ٪ قد يوجد المنجنيز والمغنسيوم حالين محل الحديدوز ؛ وتمتد المتسلسلة الكاملة فى التشابه الشكلى بين المعدن وبين الماجنيزيت والرودوكروزيت .

المعدن صعب الانصهار ويتحول إلى كتلة مغناطيسية بالتسخين . يذوب المعدن فى حامض الهيدروكلوريك الساخن مصحوبا بحدوث فوران ، ويعطى المحلول مع سيانيد الحديديك والبوتاسيوم راسبا أزرقا داكنا (دليل على وجود الحديدوز) .

يتحلل المعدن إلى أكاسيد الحديد المائية ، ليمونيت ، التى تأخذ غالباً شكلا كاذبا عقب السيدريت .

يوجد السيدريت غالباً فى هيئة رواسب تعرف بإسم الصخر الحديدى الطينى clay ironstone حيث توجد بها شوائب من المواد الطينية فى هيئة كرات ذات طبقات دائرية . كذلك توجد رواسب من المعدن مختلطة مع مواد كربونية كما يوجد المعدن فى الصخور الجيرية نتيجة لاحلال الجير بواسطة محاليل الحديدوز ، وتعتبر هذه الرواسب ذات قيمة إقتصادية نظراً لوجودها بكميات ضخمة ، ومن أمثلتها الرواسب الموجودة فى النمسا « إقليم ستيريا » . أما النوع المتبلور من السيدريت فيوجد فى العروق المائية الحارة حيث يتواجد مع الخامات الفلزية المختلفة مثل خامات معادن الفضة والبيريت والكالكوبيريت وتتراهيدريت وجالينا . وعندما يوجد السيدريت بكميات كبيرة فى هذه العروق فإنه يستعمل إقتصادياً كما هو الحال فى منطقة وستفاليا بألمانيا . يوجد المعدن فى بعض العروق المائية الحارة فى الصحراء الشرقية الجنوبية .

رودوكروزيت ($MnCO_3$)

يتبلور المعدن فى فصيلة الثلاثى ، نظام الثلاثات الوجهية الثلاثية المزدوجة . يوجد عادة فى هيئة كتل حبيبية أو متماسكة . الصلادة = ٣,٥ . الوزن النوعى = ٣,٤٥ — ٣,٦ . الانفصام معينى الأوجه كامل { ١٠١‾١ } (زاوية الانفصام ٧٣°) . البريق زجاجى . اللون يميل إلى الأحمر الوردى ولكنه قد يكون أرجوانى باهت أو بنى داكن . شفاف أو نصف شفاف .

يتميز المعدن بلونه الأحمر الوردى وانفصامه المعينى وصلادته (٤) ويفرق عن معدن رودونيت « سليكات المنجنيز » بصلادته المنخفضة (٤) [رودونيت صلادته تتراوح بين ٥,٥ — ٦,٥] .

يعتبر الرودوكروزيت من المعادن النادرة نسبياً حيث يوجد المعدن فى عروق الفضة والرصاص والنحاس ومعادن المنجنيز الأخرى . يوجد المعدن فى مناجم الفضة برومانيا وسكسونيا . يعتبر المعدن خاما بسيطا للمنجنيز .

سميثسونيت ($ZnCO_3$)

يتبلور المعدن فى فصيلة الثلاثى ، نظام المثلثات الوجهية الثلاثية المزدوجة . يوجد المعدن عادة فى هيئة كلوية أو عنقودية أو استلاكتيتية أو قشور متبلورة أو كتل تشبه شمع العسل . كما يوجد المعدن فى هيئة حبيبية أو ترابية . الصلادة = ٤٫٥ — ٥ (عالية بالنسبة لمعدن كربونات). الوزن النوعى = ٤٫٣٠ — ٤٫٤٥ . الانفصام معينى كامل {١٠١̅١} الذى يندر رؤيته . البريق زجاجى . اللون بنى أو أبيض أو أخضر أو أزرق أو أحمر وردى ، أما النوع الأصفر فيحتوى على الكادميوم . نصف شفاف .

معدن سميثسونيت معدن ذو نشأة ثانوية ويعتبر من خامات الزنك . يوجد المعدن عادة فى رواسب الزنك المنتشرة فى الصخور الجيرية ويصاحب المعدن سفاليريت وجالينا وهيميمورفيت وسيروسيت وكالسيت وليمونيت . يوجد عادة فى هيئة أشكال كاذبة عقب الكالسيت . قد يوجد المعدن فى هيئة بلورات خضراء نصف شفافة تستغل أحياناً فى أحجار الزينة . يوجد المعدن مختلطا مع خامات الرصاص والزنك بمنطقة أم غيج بالصحراء الشرقية المصرية . يعتبر المعدن خاما بسيطا للزنك .

ب — مجموعة الأراجونيت

تشمل هذه المجموعة متسلسلة من كربونات الكالسيوم والاسترونشيوم والباريوم والرصاص ، وتتبلور جميعها فى فصيلة المعينى القائم ، وثوابتها البلورية متقاربة جداً ، كما أن هيئاتها البلورية متشابهة . أى أنها بعبارة أخرى تكون مجموعة متشابهة الأشكال Isomorphous series وتتقاطع المنشورات فى بلورات هذه المعادن فى زوايا مقدارها ١٢٠° تقريباً ، لذلك فإنها تبدو سداسية كاذبة Pseudohexagonal . ويتكون أعضاء هذه المجموعة من : أراجونيت ، سترونشيانيت ، ويذيريت ، سيروسيت .

أراجونيت ($CaCO_3$)

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم ، نظام الهرم المنعكس . يوجد المعدن فى هيئة إبرية هرمية أو مسطحة أو توائم سداسية كاذبة . كذلك يوجد المعدن فى مجموعات كروية أو عمدانية أو أسلاك كثيفة .

الصلادة = ٣,٥ — ٤ . الوزن النوعى = ٢,٩٥ (أصلد وأعلى كثافة من الكالسيت) . الانفصام غير كامل ومواز للسطوح الجانبى {٠١٠} والمنشور {١١٠} البريق زجاجى . عديم اللون أو أصفر باهت أو يميل الى الاحمرار أو الزرقة أو السواد . شفاف أو نصف شفاف .

التركيب الكيميائى : كربونات الكالسيوم ، مثل الكالسيت $CaCO_3$ اكسيد الكالسيوم = ٥٦,٠٠ ٪ . ثانى أكسيد الكربون = ٤٤,٠٠ ٪ . وقد يحتوى على كمية بسيطة من الاسترونشيوم أو الرصاص .

يتميز المعدن عن الكالسيت بوزنه النوعى العالى وخلوه من الانفصام المعينى الأوجه . يفرق المعدن عن ويذريت وستر ونشيانيت بعدم انصهاره infusible ووزنه النوعى المنخفض وعدم تلوينه اللهب بلون مميز .

توجد أشكال مغايرة paramorphs للكالسيت عقب الأراجونيت بصفة شائعة . كذلك تفرز بعض الحيوانات الرخوة كربونات الكالسيوم فى هيئة أراجونيت فى أصدافها ، ويتحال هذا على سطح الصدفة ليعطى كالسيت .

معدن الأراجونيت أقل استقرارا وأقل انتشاراً من معدن الكالسيت . يتكون المعدن فى ظروف طبيعية كيماوية محددة بدرجات الحرارة المنخفضة وبالقرب من السطح . ولقد أظهرت التجارب أن الأراجونيت يترسب من المحاليل الكربوناتية الكالسية عندما تكون ساخنة . أما الكالسيت فيترسب من المحاليل الباردة . وتتكون الطبقة اللؤلؤية فى كثير من الاصداف من أراجونيت كذلك يترسب الاراجونيت من الينابيع الحارة . ويتواجد المعدن مع طبقات الجبس ورواسب خام الحديد حيث يوجد فى شكل يشبه المرجان (يطلق عليه إسم زهرة الحديد flower of iron) . كذلك يوجد المعدن فى هيئة طبقات ألياقية على صخور السربنتين وفى الفجوات الاميجدالية (اللوزات) فى البازلت . توجد

الرواسب البلورية المعدن فى أراجون بأسبانيا وفى جنوب فرنسا وجزيرة صقلية وبوهيميا وبعض المناطق فى إنجلترا . الإسم مشتق من « أراجون » أحد أقاليم أسبانيا حيث وجدت بلورات المعدن التوأمية السداسية الكاذبة لأول مرة .

ويذيريت ($BaCO_3$)

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم ، نظام الهرم المنعكس . توجد البلورات دائماً فى حالة توأمية {١١٠} حيث تكون أشكالا هرمية سداسية كاذبة نتيجة لتداخل ثلاثة أفراد فى التوأم . البلورات كثيراً ماتكون مخططة أفقيا . كذلك يوجد المعدن فى مجموعات متبلورة فى هيئة عنقودية أو كروية أو عمدانية أو حبيبية . الصلادة = ٣½ . الوزن النوعى = ٤٫٣ . الانفصام غير كامل {٠١٠} . البريق زجاجى . عديم اللون أو أبيض أو رمادى . نصف شفاف درجة الإنصهار = ٢½ — ٣ ، ويلون اللهب بلون أخضر تفاحى .

معدن الويذيريت قليل الوجود نسبيا . ويوجد فى معظم الأحيان فى العروق مصاحبا الجالينا . يستخدم المعدن كمصدر بسيط للباريوم .

سترونشيانيت ($SrCO_3$)

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم ، نظام الهرم المنعكس . البلورات غالبا إبرية وشعاعية . التوائم منتشرة وتعطى أشكالا سداسية كاذبة . كذلك يوجد المعدن فى هيئة عمدانية أو ليفية أو حبيبية . الصلادة = ٣٫٥ — ٤ . الوزن النوعى = ٣٫٧ . الإنفصام منشورى جيد {١١٠} : البريق زجاجى . الوزن أبيض أو رصاصى أو أصفر أو أخضر . شفاف أو نصف شفاف . لاينصهر المعدن . يلون المعدن بلون أحمر قرمزى « سترونشيوم » .

يعتبر سترونشيانيت من المعادن النادرة نسبيا ، ويوجد المعدن فى العروق الموجودة بالصخور الجيرية أو المارل « الطين الجيرى » ، كما أنه موجود بدرجة أقل فى الصخور النارية ، كذلك فى العروق المائية الحارة كمعدن أرضى . ويوجد المعدن بكميات إقتصادية فى إقليم وستفاليا بالمانيا . توجد بعض عينات من المعدن فى الصحراء الشرقية بالقرب من القصير . يستخدم المعدن كمصدر للاسترونشيوم

سيروسيت ($PbCO_3$)

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم ، نظام الهرم المنعكس . البلورات شائعة وغالباً مسطحة وتوأمية . كذلك يوجد المعدن فى مجموعات متبلورة حبيبية أو الياقية أو كتلية أو ترابية . الصلادة = ٣ — ٣٫٥. الوزن النوعى = ٦٫٥٥ (عالية بالنسبة لمعدن ذو بريق ألماسى لافلزى) . البريق ألماسى . عديم اللون أو أبيض أو رصاصى شفاف . أو نصف شفاف .

المعدن سهل الانصهار (درجة الانصهار = ١٫٥) . يعطى المعدن عند تسخينه مع كربونات الصوديوم على مكعب الفحم كرة صغيرة من الرصاص .

يعتبر السيروسيت من معادن خامات الرصاص الثانوية الهامة الواسعة الإنتشار حيث يتكون المعدن نتيجة لتأثير المياه المحملة بثانى أكسيد الكربون على معدن الجالينا فى المناطق العليا من عروق الرصاص . يصاحب المعدن المعادن الاولية مثل الجالينا وسفاليريت . والمعادن الثانوية مثل أنجليزيت وبيرومورفيت وسميثسونيت وليمونيت . فى مصر يوجد المعدن مصاحباً معادن الرصاص فى أم غيج وجبل الرصاص بالصحراء الشرقية .

جـ — مجموعة الدولوميت

دولوميت [$CaMg(CO_3)_2$]

يتبلور المعدن فى فصيلة الثلاثى ، نظام معينى الاوجه . البلورات معينية الشكل . يوجد كذلك فى هيئة كتل متماسكة حبيبية دقيقة أو خشنة .

الصلادة = ٣٫٥ — ٤ . الوزن النوعى = ٢٫٨٥ . الانفصام معينى الاوجه كامل { ١٠١̄١ } (زاوية الانفصام = ٥٤َ ٧٣°) البريق زجاجى أو لؤلؤى فى بعض الانواع . اللون يميل إلى الاحمرار الخفيف وقد يكون شفافا أو أبيضاً أو رماديا أو أخضرا بنيا أو أسودا . المعدن شفاف أو نصف شفاف .

التركيب الكيميائى : كربونات الكالسيوم والمغنسيوم ، $CaMg(CO_3)_2$ نسبة كربونات الكالسيوم إلى كربونات المغنسيوم عادة كنسبة ١:١ . قد يحتوى المعدن على نسبة بسيطة من كربونات الحديدوز حالة محل كربونات المغنسيوم . أما إذا وجد الحديد بكمية كبيرة فيسمى المعدن بإسم أنكيريت Ankerite

المعدن لاينصهر . لايتفاعل المعدن الخشن مع حامض الهيدروكلوريك المخفف البارد إلا ببطء ولكن مسحوق المعدن يتفاعل مع الحامض البارد مع حدوث فوران . أما الحامض الساخن فإنه يتفاعل بشدة مع المعدن الخشن . وإذا عولج الدولوميت بمحلول كرومات الفضة فإنه لايصبغ بأى لون فى حين يصبغ الكالسيت بلون المحلول .

يوجد المعدن فى الصخور الجيرية الدولوميتية وفى الرخام الدولوميتى . غالبا يصاحب الكالسيت . والدولوميت أسم لصخر أيضاً . وصخر الدولوميت صخر ثانوى الأصل نشأ من الصخر الجيرى نتيجة لاحلال المغنسيوم محل الكالسيوم . كذلك يوجد المعدن فى العروق المائية الحارة خصوصاً فى عروق الرصاص والزنك القاطعة للصخور الجيرية . يوجد المعدن فى الصخور الدولوميتية المختلفة المنتشرة فى الصحراء الشرقية وأبو رواش بالقرب من أهرام الجيزة .

يستخدم المعدن كحجر للزينة والبناء ، كذلك فى صناعة بعض أنواع الأسمنت ، والمغنيسيا ، وتحضير البطانات الحرارية فى المحولات المستخدمة فى تجهيز الصلب .

كربونات عادية مائية

نطرون ($Na_2CO_3.10\,H_2O$)

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . يوجد فى الطبيعة فى هيئة مجموعات متبلورة ، حبيبية أو فى هيئة قشور عدانية ، أو طبقات رقيقة . الصلادة = ١ — ١½ ; الوزن النوعى = ١٫٤٧٨ . الانفصام {١٠٠} واضح ، {٠١٠} غير واضح . المكسر محارى . البريق زجاجى على البلورات . عديم اللون أو أبيض ، وفى بعض الأحيان رمادى أو أصفر نتيجة لوجود شوائب . المذاق قلوى . ينصهر المعدن فى درجة ٣٤٫٥ مئوية . ويتزهر المعدن بسرعة فى

الهواء الجاف ، ويعطى الكربونات أحادية الماء monohydrate التى تعرف باسم ثيرموناتريت Thermonatrite .

يتميز المعدن بأنه سهل الذوبان فى الماء ، ويعطى محلولا قلويا ، ويتفاعل بفوران مع الأحماض ، كما أنه ينصهر عند درجة حرارة منخفضة . يتبلور المعدن فى الطبيعة عند درجات الحرارة المنخفضة (أقل من ٣٢°) ، ويوجد فى محاليل مياه ورواسب بحيرات وادى النطرون بمصر وفى البحيرات الصودية ببعض الولايات الأمريكية .

كربونات تحتوى على الأيدروكسيد

ملاكيت [$Cu_2CO_3(OH)_2$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور ، البلورات غالبا منشورية رفيعة ولكن قلما تكون واضحة . يوجد المعدن بصفة عامة فى هيئة ألياف شعاعية مكونة لمجموعات عنقودية أو إستلاكتيتية . كذلك يوجد المعدن فى هيئة حبيبية أو ترابية .

الصلادة = ٣٫٥ - ٤٫ الوزن النوعى = ٣٫٩ - ٤٫٠٣ . الانفصام قاعدى كامل {١٠٠} . البريق الماسى أو زجاجى فى البلورات ، حريرى فى الأنواع الأليافية ، معتم فى الأنواع الترابية . اللون والمخدش أخضر فاتح . نصف شفاف . ينصهر المعدن فى درجة ٣ ويعطى لهبا ذا لون أخضر . يذوب المعدن فى حامض الهيدروكلوريك بحدوث فوران ويتلون المحلول بلون أخضر ، يتحول المحلول إلى لون أزرق عميق بإضافة كميات من الأمونيا .

يعتبر معدن الملاكيت من معادن خامات النحاس الثانوية الهامة الواسعة الإنتشار حيث يوجد فى الأجزاء العليا (منطقة الأكسيد) من العروق النحاسية ويصاحب معادن أزوريت وكوبريت والنحاس العنصرى وأكاسيد الحديد وكبريتيدات النحاس والحديد المختلفة . يستعمل المعدن كخام للنحاس .

يوجد الملاكيت فى شبه جزيرة سيناء (سمرة ونمران وفيران ورحانه وسرابيت) وفى الصحراء الشرقية بمناطق جبل عطوى (٥٥ كيلو متر جنوب

غرب القصير) وجبل أم سميوكى ووادى حمش وحلجات وأبو صويل .

أزوريت $[Cu_3(CO_3)_2(OH)_2]$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . البلورات عادة ذات هيئة مركبة وغير كاملة التكوين . يوجد المعدن كذلك فى هيئة مجموعات كروية شعاعية . الصلادة = ٣٫٥ — ٤ . الوزن النوعى ٣٫٧٧ . البريق زجاجى . اللون أزرق فاقع (مثل زهرة الغسيل) . شفاف أو نصف شفاف . الخدش أزرق فاتح . الإختبارات الكيميائية مثل الملاكيت .

يتحال المعدن فى بعض الأحيان إلى ملاكيت الذى يأخذ شكل المعدن الأصلى (أزوريت) . يوجد معدن الأزوريت فى الأحوال المماثلة لوجود معدن ملاكيت حيث يصاحبه ، ويكثر وجوده فى هيئة بلورات . يستخدم المعدن كخام للنحاس .

يصاحب المعدن ملاكيت فى مناطق متفرقة بشبه جزيرة سيناء والصحراء الشرقية التى يوجد فيها الاخير .

مجموعة المعادن النترانية

النتر الصودى — $NaNO_3$

[ملح شيلى]

يتبلور المعدن فى فصيلة الثلاثى ، نظام المثلثات الوجهية الثلاثية المزدوجة . يشابه معدن كالسيت فى الثوابت البلورية والانفصام والخواص البصرية . . . الخ ويكون المعدنان بلورات نطاقية الواحدة حول الأخرى . يوجد المعدن غالبا فى هيئة كتلية موجودة فى شكل قشور أو طبقات . الصلادة = ١ — ٢ . الوزن النوعى = ٢٫٢٩ . الانفصام معينى الأوجه { ١٠١̅١ } كامل . البريق زجاجى عديم اللون أو أبيض أو بنى أحمر أو رصاصى أو أصفر . شفاف أو نصف شفاف . بارد المذاق . يتميع بسهولة .

سهل الانصهار (درجة الانصهار = ١) ويلون المعدن اللهب بلون الصوديوم

الأصفر الفاقع . يذوب بسهولة جداً فى الماء ويتميز المعدن بمذاقه البارد وطعمه الشديد .

يوجد المعدن فقط فى الأماكن الصحراوية الجافة وذلك بسبب شدة ذوبانه فى الماء . يوجد فى شمال شيلى والأقاليم المجاورة من بوليفيا . يوجد كذلك فى الطبقات الملحية المعروفة باسم كاليش Caliche الموجودة فى مساحات كبيرة حيث تتواجد طبقات المعدن متداخلة مع طبقات الرمل وملح الطعام والجبس . يوجد المعدن فى مصر على جانبى وادى النيل جنوب قنا حتى شمال إدفو حيث يستغل الطفل المحتوى على المعدن فى التسميد. تعتبر شيلى أكبر منتج للمعدن حيث يستخدم المعدن فى التسميد وفى صناعة المفرقعات . يجد الخام الآن منافسة كبيرة من النترات الصناعية المنتجة من عملية تثبيت النتروجين الجوى .

مجموعة المعادن البوراتية

(Borates)

كولمانيت	Colemanite	$Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$	الميل الواحد
كيرنيت	Kernite	$Na_2B_4O_7.4H_2O$	الميل الواحد
بوراكس	Borax	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	الميل الواحد

كولمانيت ($Ca_2B_6O_{11}.5H_2O$)

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . يوجد فى هيئة منشورات قصيرة كذلك يوجد المعدن فى هيئة كتلية حبيبية أو متماسكة . الصلادة = ٤ — ٤,٥ . الوزن النوعى = ٢,٤٢ . الانفصام موازى للسطوح الجانبى {٠١٠} كامل . البريق زجاجى . عديم اللون أو أبيض ، شفاف أو نصف شفاف .

يوجد المعدن فى هيئة طبقات متداخلة مع طبقات رواسب البحيرات التابعة للحقب الثالث Tertiary . يصاحب المعدن هاليت وتنارديت وطرونا وجبس وسلستيت وكوارتز .

استخدم المعدن كمصدر للبوراكس حتى اكتشاف معدن كيرنيت الذى حل محله. يستخدم البوراكس فى صناعة الصابون والطلاء والزجاج ومساحيق الغسيل والمراهم والروائح ، كذلك يستعمل فى اللحام والصهر واختبارات البورى ، وفى المواد المطهرة ، وكمادة حافظة للحوم والأسماك .

كيرنيت $(Na_2B_4O_7.4H_2O)$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . يوجد عادة فى هيئة مجموعات خشنة الحبيبات ذات انفصام. الصلادة =٢. الوزن النوعى=١,٩٥ . الانفصام كامل وموازى للسطوح القاعدى{١٠٠} والسطوح الامامى{٠٠١}. البريق زجاجى أو لؤلؤى . اللون عديم اللون أو أبيض . لاتلبث العينات عديمة اللون أن تتحول إلى بيضاء عند تعرضها للجو لفترة طويلة نتيجة لتكون طبقة رقيقة جداً من معدن آخر (تنسكالكونيت . $Na_2B_4O_7.5H_2O$) .

يوجد المعدن فى صحراء موهيف بولاية كاليفورنيا بامريكا حيث يوجد فى رواسب طينية تقدر بملايين الأطنان . ويعتقد أن هذا المعدن قد نتج من تبلور معدن البوراكس مرة ثانية نتيجة لازدياد الضغط والحرارة . ويعتبر الكيرنيت أهم مصدر للبوراكس فى الوقت الحالى .

بوراكس (البورقة) $[Na_2B_4O_7.10H_2O]$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . البلورات منشورية كبيرة . كذلك يوجد المعدن فى هيئة كتلية أو قشرية . الصلادة =٢—٢,٥. الوزن النوعى= ١,٧ . البريق زجاجى . الإنفصام كامل وموازى للسطوح الامامى{١٠٠} . المذاق قلوى حلو . تتزهر البلورات عديمة اللون وتتحول إلى لون أبيض نتيجة لتكوين معدن تنسكالكونيت .

يعتبر البوراكس أكثر المعادن البوراتية انتشارا. ويتكون المعدن نتيجة لبخر مياه البحيرات المالحة . يستخدم البوراكس فى أغراض صناعية كثيرة (أنظر معدن كولمانيت ، صفحة ٣٢٧) .

المعادن الكبريتاتية والكروماتية

يتحد أيون الكبريت السداسى التكافؤ مع أربعة أيونات أكسجين (عدد التناسق يساوى أربعة) ويكون مجموعة أيونية قوية جداً، تميز خواصها الرابطة المشتركة التى تربط بين الكبريت والأكسجين . هذه المجموعة SO_4^{-2} ؛ أو شق الكبريتات فى علم الكيمياء ، تكون الوحدة البنائية الأساسية للمعادن الكبريتاتية .

وأهم أفراد الكبريتات اللامائية وأكثرها انتشارا معادن مجموعة الباريت (باريت : كبريتات الباريوم ، سليستيت: كبريتات الاسترونشيوم، أنجليزيت : كبريتات الرصاص) التى تحتوى على كاتيونات كبيرة ثنائية التكافؤ متناسقة مع أنيونات الكبريتات .

يؤدى البناء الذرى البسيط نوعا ما فى هذه المعادن إلى تماثل معينى قائم ، ويوجد بها انفصام كامل {١٠٠}، {٠١٢} ولكن الانهيدريت ، كبريتات الكالسيوم ، له بناء مختلف اختلافا طفيفا عنها . وله انفصام مسطوحى فى ثلاث مستويات ، وذلك بسبب صغر حجم أيون الكالسيوم عن أيونات الباريوم والاسترونشيوم والرصاص، وتتوقف الخواص الفيزيائية للمعدن بصفة عامة على الكاتيون الغالب فى التركيب . فمثلا ، يتناسب الوزن النوعى تناسباً طرديا مع الوزن الذرى للكاتيون .

ومن بين الكبريتات المائية يعتبر الجبس أهم معادنها وأكثرها انتشاراً . ويستدل من وجود الانفصام الكامل {٠١٠} على أن بناء المعـــدن من النوع الصفائحى ، حيث يتكون من طبقات (أو رقائق) من الكالسيوم وأيونات الكبريتات يفصل بينها جزيئات الماء . ويؤدى فقدان الماء إلى انهيار البناء الذرى وتحوله إلى بناء الانهيدريت مصحوباً بنقص فى الحجم النوعى وزوال الانفصام الكامل .

ويضم هذا القسم عدداً كبيراً من المعادن ، ولكن القليل منها هو شائع . ويمكن تصنيف الكبريتات لسهولة البحث والدراسة إلى ثلاث أقسام :

(١) كبريتات لامائية (٢) كبريتات مائية
(٣) كبريتات تحتوى على الأيدروكسيد .

الكبريتات اللامائية

مجموعة الباريت

باريت	Barite	$BaSO_4$	المعينى القائم .
سيلستيت	Celestite	$SrSO_4$	المعينى القائم .
انجليزيت	Angesite	$PbSO_4$	المعينى القائم .
انهيدريت	Anhydrite	$CaSO_4$	المعينى القائم .
جلوبيريت	Glauberite	$Na_2Ca(SO_4)_2$	الميل الواحد .

الكبريتات المائية

جبس	Gypsum	$CaSO_4.5H_2O$	الميل الواحد .
كالكانثيت	Chalcanthite	$CuSO_4.5H_2O$	الميول الثلاثة .
إبسوميت	Epsomite	$MgSO_4.7H_2O$	المعينى القائم .
ميلانتيريت	Melanterite	$FeSO_4.7H_2O$	الميل الواحد .
بولبهاليت	Polyhalite	$K_2Ca_2Mg(SO_4).2H_2O$	الميول الثلاثة .

الكبريتات المحتوية على الايدروكسيد .

أنتلريت	Antlerite	$Cu_3(OH)_4SO_4$	المعينى القائم
ألونيت	Alunite	$KAl_3(OH)_6(SO_4)_2$	الثلاثى

كبريتات لامائية

مجموعة الباريت (Barite Group)

تتشابه كبريتات الباريوم والاسترنشيوم والرصاص فى بنائها الذرى وتكون مجموعة متشابهة البناء. وتتبلور معادن هذه المجموعة فى فصيلة المعينى القائم،

وثوابتها البلورية متقاربة جداً وهيئاتها متشابهة . وتشمل هذه المجموعة معادن ثلاثة هي : باريت ، وسيلستيت ، وانجلزيت .

باريت ، ا : ب : حـ = ١٫٦٢٧ : ١ : ١٫٣١٠

سيلستيت ، ا : ب : حـ = ١٫٥٦١ : ١ : ١٫٢٧٦

أنجلزيت ، ا : ب : حـ = ١٫٥٧١ : ١ : ١٫٢٨٨

باريت ($BaSO_4$)

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم . نظام الهرم المنعكس . البلورات عادة مسطحة وموازية للمسطوح القاعدى . يوجد المعدن أيضاً فى هيئة كتلية متشققة حبيبية أو اليافية كاوية وأحيانا صفائحية أو عقدية (مثل العقدة) أو ترابية .

الصلادة = ٣ — ٣ ½ . الوزن النوعى = ٤٫٥ (عالية بالنسبة لمعدن ذى بريق لافلزى) . الانفصام كامل وموازى للمسطوح القاعدى {٠٠١} وللمنشور {٠١٢} . البريق زجاجى أو لؤلؤى على السطح القاعدى فى بعض العينات . عديم اللون أو أبيض أو يميل إلى الزرقة أو أصفر أو أحمر . شفاف أو نصف شفاف .

التركيب الكيميائى : كبريتات الباريوم ، $BaSO_4$. أكسيد الباريوم = ٦٥٫٧ ٪ وثالث أكسيد الكبريت = ٣٤٫٣ ٪ . يحل الاسترونشيوم محل الباريوم ويحتمل وجود متسلسلة كاملة من المحاليل الجامدة بين الباريت والسلستيت قد يحتوى المعدن على الكالسيوم أو الرصاص حالين محل الباريوم .

درجة الانصهار = ٤ ، ويلون اللهب بلون أخضر مائل إلى الاصفرار (الباريوم) . يتميز المعدن بوزنه النوعى العالى وانفصامه وبلوراته المميزة .

الباريت من المعادن الواسعة الانتشار . يوجد المعدن عادة كمعدن أرضى فى العروق الفلزية حيث يصاحب خامات الفضة والنحاس والكوبالت والمنجنيز والانتيمون . كذلك يوجد المعدن مع الكالسيت فى هيئة عروق فى الصخور الجيرية ، أو يوجد فى هيئة كتل متبقية فى الصخور الطينية التى تعلو الحجر الجيرى . كذلك يوجد المعدن فى الصخور الرملية مع خامات النحاس ، وفى بعض

الأحيان يكون الباريت مادة لاحمة لحبيبات الكوارتز فى الحجر الرملى ، وقد يترسب المعدن حول الينابيع الحارة .

يوجد المعدن فى مصر فى عروق الباريت بأسوان، ومكونا البلورات الوردية Rose crystals والمواد اللاحمة فى الصخور الرملية بالواحة الخارجة . وكذلك فى هيئة عروق ورواسب فى مناطق حماطة وشعيط والشيخ الشاذلى بالصحراء الشرقية ؛ ويصاحب المعدن كثيراً السيلستيت .

يستخدم أكثر من ٨٠٪ من الإنتاج العالمى للباريت فى حفر الآبار (البترول بصفة خاصة) . ويستعمل الباريت أيضاً فى تحضير المركبات الكيميائية لعنصر الباريوم . يستعمل مخلوط كبريتيد الباريوم وكبريتات الزنك (يعرف المخلوط باسم ليثوفين Lithophene) فى صناعة البويات والطلاء والنسوجات . كما تستعمل كبريتات الباريوم فى صناعة الورق والقماش ، وفى مواد الزينة للسيدات Cosmetics ، وفى الطب (وجبة الباريوم عند التصوير بالأشعة) .

سلستيت ($SrSO_4$)

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم ، نظام الهرم المنعكس . البلورات مسطحة أو منشورية . كذلك يوجد فى هيئة كتل حبيبية أو اليافية.

الصلادة = ٣ — ٣٫٥ . الوزن النوعى = ٣٫٩ — ٤٫٠ . البريق زجاجى أو لؤلؤى . الانفصام كامل وموازى للقاعدة {٠٠١} وللمنشور {٠١٢} . عديم اللون أو أبيض أو مائل للزرقة أو الاحمرار . شفاف أو نصف شفاف . يحل الباريوم محل الاسترونشيوم ويحتمل وجود متسلسلة كاملة من المحاليل الجامدة بين السلستيت والباريت . درجة انصهار المعدن = ٣٫٥ — ٤ . يتلون اللهب بلون أحمر قرمزى (استرونشيوم) .

يشبه المعدن الباريت إلى درجة كبيرة ولكن وزنه النوعى منخفض ويحتاج الأمر إلى إجراء الإختبارات الكيميائية وتحقيق لون اللهب للتفرقة بين الاثنين .

يوجد السلستيت منتشرا فى الصخور الرملية أو الجيرية أو فى هيئة دأعشاش»

صغيرة أو مبطنا الفجوات فى هذه الصخور . يصاحب المعدن معادن كالسيت ودولوميت وجبس وهاليت وكبريت وفلوريت. كذلك يوجد السلستيت كمعدن أرضى gangue فى عروق الرصاص .

فى مصر يوجد السلستيت فى جبل المقطم بالقرب من المعادى وفى الصخور الجيرية بمنطقة الفيوم وبمنطقة القصير .

نجليزيت ($PbSO_4$)

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم ، نظام الهرم المنعكس . البلورات منشورية أو موازية لأى من المحاور البلورية ويوجد عليها مجموعة من الأشكال البلورية . كذلك يوجد المعدن فى هيئة كتلية أو حبيبية متماسكة، يوجد غالباً فى هيئة ترابية أو فى طبقات دائرية ، فى بعض الأحيان حول لب من الجالينا .

الصلادة = ٣ ، الوزن النوعى = ٦٫٢ — ٦٫٤ (عالية)، الانفصام غير كامل، وموازى للقاعدة {١٠٠} وللمنشور {٠١٢} . المكسر محارى ، البريق ألماسى (عند ما يكون المعدن نقياً ومتبلوراً) ومعتم (فى الأنواع الترابية). اللون شفاف أو أبيض أو رصاصى أو يميل إلى الاصفرار . شفاف أو نصف شفاف .

يتميز المعدن بوزنه النوعى العالى وبريقه الألماسى ومصاحبته فى معظم الاحيان لمعدن الجالينا، يفرق المعدن عن السيروسيت بعدم فورانه مع حامض النيتريك .

الانجليزيت من المعادن الثانوية الشائعة حيث يتكون المعدن نتيجة لتأكسد الجالينا . ويوجد المعدن فى الأجزاء العليا الأكسيدية من عروق الرصاص حيث يصاحب معادن الجالينا والسيروسيت وسفاليريت وسميثسونيت وهيميمورفيت وأكاسيد الحديد . يستعمل المعدن كخام بسيط للرصاص .

انهيدريت ($CaSO_4$)

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم ، نظام الهرم المنعكس. البلورات نادرة. يوجد غالباً فى هيئة كتل دقيقة التبلور أو كتل أليافية أو خشنة .

الصلادة = ٣ — ٣٫٥ . الوزن النوعى = ٢٫٨٩ — ٢٫٩٨ . الانفصام واضح فى ثلاثة مستويات موازية للاشكال البلورية {١٠٠} ، {٠١٠} ، {٠٠١} وينتج عنها كتل مكعبية الشكل ، البريق زجاجى أو لؤلؤى على أسطح الانفصام. عديم اللون أو أبيض أو رصاصى مائل للزرقة أو أسود .

درجة إنصهار المعدن = ٣ . يذوب فى حامض الهيدروكلوريك الساخن ويعطى المحلول المخفف مع كلوريد الباريوم راسبا أبيضاً من كبريتات الباريوم.

يتميز الأنهيدريت بأنفصامه فى ثلاثة مستويات متعامدة . ويفرق عن الكالسيت بوزنه النوعى العالى وعن الجبس بصلادته . ويصعب تمييز الأنواع الدقيقة الحبيبات دون الأستعانة بالاختبار الكيميائى وإثبات وجود شق الكبريتات.

يتحلل المعدن بسهولة نتيجة لامتصاصه الرطوبة ويتحول إلى معدن الجبس ويصحب هذه العملية ازدياد فى الحجم .

يوجد الأنهيدريت فى معظم الأماكن التى يوجد فيها الجبس حيث يتصاحبان دائماً . يوجد فى طبقات مختلطا مع الملح فى الصخور الجيرية ، وكذلك مالئاً بعض الفقاقيع فى بعض صخور البازلت الاميجدالى (اللوزى) .

يوجد فى بولندة وألمانيا وسويسرا وبعض ولايات أمريكا . وفى مصر يوجد المعدن مع الجبس والملح ضمن رواسب العصر الميوسينى الممتدة على ساحل البحر الأحمر وعلى جانبى خليج وقناة السويس ، ويستعمل المعدن فى صناعة الأسمنت وحامض الكبريتيك .

جلوبيريت [$Na_2Ca(SO_4)_2$]

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . البلورات رفيعة ، ومسطحة موازية للقاعدة . الصلادة = ٢٫٥ — ٣ . الوزن النوعى = ٢٫٧٥ - ٢٫٨٥ . الانفصام {١٠٠} جيد . البريق زجاجى . اللون أصفر باهت أو رمادى . المذاق مالح بعض الشىء . شفاف أو نصف شفاف .

معدن جلوبيريت من المعادن الواسعة الأنتشار ضمن الرواسب الملحية التى

تتكون بالبخر من البحيرات المالحة . ولذلك يوجد مصاحبا معادن تناردیت ، وهاليت ، وبوليهاليت .

كبريتات مائية

الجبس ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد، نظام المنشور. البلورات غالباً منشورية. التوائم شائعة . يوجد كذلك فى هيئة كتلية منفصمة وكذلك فى هيئة صفائحية أو حبيبية. يعرف النوع الأليافى ذو البريق الحريرى بإسم ساتنسبار Satinspar. أما الألاباستر Alabaster فهو عبارة عن النوع الكتلى الدقيق الحبيبات (الألاباستر المصرى ، صفحة ٣٢٢، عبارة عن كربونات الكالسيوم) أما السيلينيت Selenite فهو عبارة عن النوع الشفاف الذى ينفصم فى صفائح عريضة .

الصلادة = ٢ (يخدش بالظفر) . الوزن النوعى = ٢,٣٢ . ينفصم المعدن فى ثلاثة مستويات . الانفصام كامل ومواز للمسطوح الجانبى {٠١٠} ، الانفصامان الآخران موازيان للمسطوح الأمامى ونصف الهرم الموجب. المكسر محارى على السطح (٠٠١) وأليافى على السطح (١١٠). اللون شفاف أو أبيض أو رمادى أو مائل إلى الإصفرار أو الأحمر أو البنى نتيجة لوجود الشوائب . شفاف أو نصف شفاف .

درجة الانصهار = ٣ . يذوب المعدن فى حامض الهيدروكلوريك المخفف الساخن ويعطى المحلول مع كلوريد الباريوم راسبا أبيضاً من كبريتات الباريوم.

يتميز المعدن بصلادته المنخفضة وانفصامه فى ثلاثة مستويات ، ويفرق عن الانهيدريت باحتوائه على كمية من الماء وذوبانه فى حامض الهيدروكلوريك .

الجبس من المعادن الشائعة الإنتشار حيث يوجد فى الصخور الرسوبية فى هيئة طبقات سميكة . وتتداخل طبقات الجبس عادة مع طبقات الحجر الجيرى والطفل . كما يوجد المعدن فى هيئة طبقات أسفل طبقات الملح الصخرى حيث ترسب الجبس قبل الهاليت أثناء عملية تبلور المياه البحرية نتيجة للبخر . قد يوجد

المعدن متبلورا فى عروق الساتنسبار . وينتج المعدن غالبا من نمو معدن الأنهيدريت ، وتسبب هذه العملية طى folding الطبقات العليا نتيجة لازدياد حجم الجبس عن حجم الأنهيدريت الأصلى . كذلك يوجد المعدن فى المناطق البركانية نتيجة لتفاعل أبخرة الكبريت المتصاعدة مع الحجر الجيرى . وكذلك يوجد الجبس كمعدن أرضى فى بعض العروق المائية الحارة الفلزية . يصاحب المعدن معادن كثيرة أهمها الهاليت والأنهيدريت والدولوميت والكالسيت والكبريت والبيريت والكوارتز .

يوجد الجبس مختلطا مع الأنهيدريت فى التلال الممتدة على جانبى خليج السويس وعلى ساحل البحر الأحمر (العصر الميوسينى) .

يستعمل الجبس بصفة أساسية فى صناعة المصيص وعجينة باريس Plaster of Paris . يستعمل الألاباستر والساتنسبار فى أحجار الزينة ولكن فى نطاق ضيق بسبب صلادتها المنخفضة .

كالكانثيت [$CuSO_4.5H_2O$]

(الزاج الأزرق Blue Vitreol)

يتبلور المعدن فى فصيلة الميول الثلاثة ، نظام المسطوح . يوجد فى هيئة بلورات لوحية موازية لأوجه الربع هرمى {١١١} . كذلك يوجد المعدن فى هيئة كتلية أو استلا كتيتية ، أو كلوية ، وكذلك قد يوجد فى هيئة إبرية . الوزن النوعى = ٢,١٢ — ٢,٣٠ . الصلادة = ٢,٥ . البريق زجاجى . اللون أزرق داكن . شفاف . المذاق فلزى .

معدن كالكانثيت من المعادن النادرة . ويوجد فقط فى المناطق الصحراوية كمعدن ثانوى حيث يوجد بالقرب من السطح فى الأماكن التى بها عروق نحاسية . ويتكون المعدن فى هذه الأماكن نتيجة لأكسدة معادن الكبريتيدات النحاسية الأصلية .

إبسوميت [$MgSO_4.7H_2O$] (ملح إبسوم)

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم ، نظام الوتد . يندر وجود المعدن فى هيئة بلورات . يوجد عادة فى هيئة كتل عنقودية أو قشور أليافية . الصلادة = ٢ — ٢,٥ . الوزن النوعى = ١,٦٨ . الانفصام كامل وموازى للمسطوح الجانبى {١٠١}. البريق زجاجى أو ترابى . اللون أبيض . شفاف أو نصف شفاف . المذاق مر جداً .

يترسب المعدن عادة كمادة متزهرة على جدران المناجم والكهوف، وقد يتكون فى حالات نادرة كرواسب لبعض البحيرات مثل رواسب ستاسفورت فى ألمانيا حيث يصاحب الأملاح الأخرى القابلة للذوبان .

ميلانتيريت [$FeSO_4.7H_2O$]

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . البلورات متساوية أو منشورية قصيرة . يوجد غالبا فى هيئة استلاكتيتية أو كروية اليافية أو قشرية أو كتلية . الصلادة = ٢ . الوزن النوعى = ١,٨٩٨ . البريق زجاجى . المكسر محارى . قابل للكسر . اللون أخضر مائل للزرقة . المخدش أبيض . شفاف أو نصف شفاف . المذاق قابض وفلزى . ويتحول المعدن إلى لون أبيض مائل للاصفرار ومعتم عند تعرضه للهواء الجاف .

ميلانتيريت من المعادن الثانوية التى تتكون نتيجة لأكسدة معادن البيريت والماركزيت . يوجد المعدن كمادة متزهرة مترسبة على جدران المناجم التى تحوى خامات المعادن المذكورة . كذلك يوجد المعدن فى المناطق الصحراوية الجافة .

بوليهاليت [$K_2Ca_2Mg(SO_4)_4.2H_2O$]

يتبلور المعدن فى فصيلة الميول الثلاثة ، نظام المسطوح . البلورات نادرة ، وعادة توأمية . يوجد عادة فى هيئة كتل حبيبية أو أليافية أو صفائحية متماسكة . الصلادة = ٣ — ٣,٥ . الوزن النوعى = ٢,٧٨ . الانفصام {١٠١} واضح . اللون رمادى أو أحمر وردى أو أحمر طوبى . البريق راتنجى . نصف شفاف . المذاق مر

يوجد البوليهاليت فى رواسب طبقية حيث يصاحب معادن هاليت وسيلفيت و كارناليت ، الخ . ومن المناطق المشهورة بوجود المعدن نذكر ستاسفورت بألمانيا وسالزبورج بالنمسا . يستخدم المعدن كمصدر للبوتاسيوم .

كبريتات لامائية محتوية على الهيدروكسيد

أنتليريت [$Cu_3(OH)_4SO_4$]

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم ، نظام الهرم المنعكس . البلورات منشورات رفيعة ، ومخططة طوليا ، وتكون عادة إبرية . وقد تكون البلورات مسطحة. كذلك يوجد المعدن فى هيئة مجموعات متوازية ، أو كلوية ، أو كتلية .

الصلادة = ٣ ½ — ٤ . الوزن النوعى = ٣٫٩ . الانفصام {٠١٠} كامل . البريق زجاجى . اللون أخضر زمردى إلى أخضر داكن . المخدش أخضر باهت . شفاف أو نصف شفاف .

يوجد انتلريت فى الأجزاء المتأكسدة من عروق النحاس ، خصوصاً فى المناطق الصحراوية .

الونيت [$KAl_3(OH)_6(SO_4)_2$]

(حجر الشب)

يتبلور المعدن فى فصيلة الثلاثى ، نظام الهرم الثلاثى المزدوج . البلورات غالبا معينية الشكل تشبه المكعب . قد تكون البلورات مسطحة . غالباً فى هيئة كتلية أو منتشرة .الصلادة = ٤، الوزن النوعى = ٢٫٦ — ٢٫٨ . الانفصام قاعدى كامل {١٠٠٠} . اللون أبيض أو رمادى أو يميل إلى الاحمرار . شفاف أو نصف شفاف .

يتكون معدن ألونيت نتيجة لتفاعل المحاليل الحاملة لحامض الكبريتيك مع الصخور الغنية بالفلسبارات البوتاسية . وقد يوجد المعدن بكميات صغيرة حول فوهات البراكين . يستخدم المعدن فى إنتاج الشب ، وفى بعض الأحيان يستغل المعدن للحصول على البوتاسيوم والالومنيوم منه .

من المعادن المشابهة للمعدن معدن جاروزيت $KFe_3(OH)_6(SO_4)_2$ Jarosite وهو عبارة عن معدن ثانوى يوجد فى هيئة قشور وطبقات غطائية رقيقة فى المناطق التى يوجد بها خامات حديدية .

كروكويت ($PbCrO_4$)

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . يوجد عادة فى هيئة بلورات منشوريه ومجموعات عمدانية أو حبيبية .

الصلادة = ٢٫٥ — ٣ . الوزن النوعى = ٥٫٩ — ٦٫١ . الانفصام منشورى غير كامل { ١١٠ } . البريق الماسى . اللون أحمر برتقالى . الخدش أصفر برتقالى . نصف شفاف .

كروكويت من المعادن النادرة التى توجد فى نطاقات الأكسدة بالمناطق التى يوجد بها عروق خامات الرصاص القاطعة لصخور تحتوى على عنصر الكروميوم

المعادن التنجستاتية

والمولبداتية

يلاحظ أن أيونات التنجستن والمولبدنوم السداسية التكافؤ (نصف قطر كل منها = ٠٫٦٢ A) أكبر بكثير من أيونات الكبريت سداسى التكافؤ وأيونات الفسفور خماسى التكافؤ . وعلى ذلك فعندما تتحد هذه الأيونات مع الأكسجين فإن أيونات الأكسجين الأربعة التناسقة مع أى من أيونات التنجستن أو المولبدنوم لا تشغل أركان رباعى الأوجه المنتظم ، وإنما تكون مجموعة مبططة إلى حد ما وذات حدود مربعة .

وتصنف المعادن التابعة لهذا القسم إلى مجموعتين متشابهتى البناء : (ا) مجموعة الولفراميت وتتكون من الكاتيونات الثنائية التكافؤ الصغيرة نسبياً ، مثل الحديد والمنجنيز والمغنسيوم والنيكل والكوبالت ، فى حالة سداسية التناسق مع أيون التنجستن ، (ب) مجموعة الشيليت وتتكون من مركبات الأيونات الثنائية التكافؤ

الأكبر حجماً مثل الكالسيوم (٠٫٩٩ A) والرصاص فى حالة ثمانية التناسق مع أيون التنجستن ، وفى هذه المجموعة يمكن لأيونات التنجستن والمولبدنوم أن تحل محل بعضها البعض مكونة متسلسلات جزئية بين كل من شيليت ($CaWO_4$) وباوبلليت ($CaMoO_4$) وستولزيت ($PbWO_4$) وولفينيت ($PbMoO_4$) .

وفيما يلى وصف للمعادن التنجستانية والمولبداتية التالية :

ولفراميت	Wolframite	$(Fe,Mn) WO_4$	الميل الواحد
شيليت	Scheelite	$CaWO_4$	الرباعى
ولفينيت	Wulfenite	$PbMoO_4$	الرباعى

ولفراميت [$(Fe,Mn) WO_4$]

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . توجد البلورات عادة فى هيئة لوحية موازية للمسطوح الأمامى . كذلك يوجد المعدن فى مجموعات نصلية bladed أو صفائحية أو عمدانية أو حبيبية . الصلادة = ٥ — ٥٫٥ . الوزن النوعى = ٧ — ٧٫٥ . الانفصام كامل وموازى للمسطوح الجانبى {٠١٠} . البريق تحت فلزى أو راتنجى . اللون أسود بنى . المخدش من أسود إلى بنى حسب التركيب الكيميائى .

التركيب الكيميائى: تنجستات المنجنيز والحديدوز [$(Fe, Mn) WO_4$] . توجد متسلسلة كاملة التشابه الشكلى بين فيربريت ($FeWO_4$) وهيبنريت ($MnWO_4$). النسبة المئوية لأكسيد التنجستن WO_3 فى الفيربريت = ٧٦٫٣ ٪ ، وفى الهيبنريت = ٧٦٫٦ ٪ . درجة انصهار المعدن من ٣ — ٤ ويعطى كرة مغنطيسية . لايذوب المعدن فى الأحماض . يمكن تمييز المعدن بواسطة لونه الداكن ، ووجود إنفصام كامل فى إتجاه واحد . ووزنه النوعى العالى .

معدن الولفراميت من المعادن النادرة نسبيا . ويتكون عند درجات عالية من الحرارة ، حيث يوجد المعدن فى عروق الكوارتز المائية عالية الحرارة ، وفى البجماتيت التى تصاحب صخر الجرانيت . يندر وجود المعدن فى عروق الخامات الكبريتيدية . يوجد عادة مع معادن كاسيتريت وكذلك شيليت وكوارتز .

توجد أهم رواسب المعدن فى الصين وبورما وويلز الجنوبية الجديدة باستراليا وبوليفيا . وتنتج الصين حوالى نصف الإنتاج العالمى للمعدن . وفى مصر يوجد المعدن بجهات منتشرة فى الصحراء الشرقية أهمها العجلة وأبو دباب والنويبع والعنيجى وزرقة النعام ووادى الدب وأبو مروة ومنطقة جبل علبة .

يعتبر المعدن أهم مصدر لفلز التنجستن الذى يستخدم فى صناعات الصلب المستعمل فى عمل الآلات والصمامات ذات السرعة العالية ، وكذلك فى صناعة الآلات الثاقبة والمبارد ، وفى صناعة المصابيح الكهربائية وصمامات الراديو . يستخدم كربيد التنجستن كمادة صنفرة عالية الصلادة .

شيليت ($CaWO_4$)

يتبلور المعدن فى فصيلة الرباعى ، نظام الهرم المنعكس . البلورات عادة عبارة عن أهرامات منعكسة من الرتبة الأولى . يوجد المعدن كذلك فى هيئة كتل حبيبية . الصلادة = ٤٫٥ — ٥ . الوزن النوعى = ٥٫٩ — ٦٫١ . الانفصام موازى للهرم المنعكس من الرتبة الثانية . البريق زجاجى أو ألماسى اللون أبيض أو أصفر أو أخضر أو بنى . نصف شفاف . معظم عينات شيليت لها خاصية التضوء (النوع التفلرى) . درجة الانصهار = ٥ .

يوجد المعدن فى صخور البجماتيت الجرانيتية ، وكذلك فى الصخور المتحولة بالحرارة ، وفى العروق المائية الحارة ذات درجة الحرارة العالية المصاحبة للصخور الجرانيتية . يصاحب المعدن الكاسيتريت والتوباز والفلوريت والاباتيت والمولبدينيت والولفراميت . يوجد المعدن فى الصحراء الشرقية المصرية بمنطقة زرقة النعام وجبل علبة مع معدن الولفراميت .

يستخدم المعدن كخام للتنجستن ، ولو أن معظم الولفراميت يأتى فى المرتبة الاولى من حيث إمداد العالم بعنصر التنجستن .

المعادن الفوسفاتية

والزرنيخاتية والفنداتية

الفوسفور الخماسى التكافؤ أكبر بقليل من الكبريت السداسى التكافؤ فى الحجم ولذلك فإنه ، مثل الكبريت ، يكون مجموعات أيونية رباعية الاوجه (Tetrahedral) مع الأكسجين . وتكون هذه المجموعة رباعى الاوجه PO_4^{3-} (مثل مجموعة الكبريتات رباعية الأوجه) شقا مستقلا لايشاطر ذرات أكسجين أخرى أو يكون مجموعات متبلمرة (Polymerized) .
وتحتوى معادن الفوسفات على أيون الفوسفات كوحدة بنائية أساسية. وتتكون وحدات أخرى مماثلة ، لها نفس عدد تناسق الأكسجين ونفس نوع ودرجة القوى الرابطة ، حول أيونات الزرنيخ والفناديوم الخماسية التكافؤ ، ويمكن لأيونات الفوسفور والزرنيخ والفناديوم أن تحل محل بعضها البعض فى مكانها الذى تشغله فى مركز رباعى الأوجه المكون من أيونات الأكسجين ، وذلك كما فى مجموعة معادن البيرومورفيت .

ويكون الأباتيت ، وهو أكثر المعادن الفوسفاتية انتشاراً وأهمية ، محاليلا جامدة بالنسبة لإحلال أنيونات كل من الكلورين والهدروكسيد محل الفلورين ولكن إحلال مجموعة الكربونات محل مجموعة الفوسفات شىء نادر . وقد يحل المنجنيز والاسترونشيوم وغيرهما من الكاتيونات محل الكالسيوم . ولقد أدى هذا الإحلال الأيونى المعقد ، والذى يميز قسم المعادن الفوسفاتية ، إلى وجود علاقات كيميائية بين أفراد هذا القسم وتعقيد بنيانها بعض الشىء .

وتتكون معظم هذه الطائفة الكبيرة من المعادن الفوسفاتية ، ولكن معظم أفرادها معادن نادرة . ومن بين المعادن المذكورة فى التصنيف التالى يعتبر الأباتيت أكثر المعادن انتشاراً .

١ — فوسفات عادية لامائية :

مونازيت (الميل الوحد) Monazite [(Ce,La,Y,Th)PO_4]

٢ — فوسفات عادية وأرسينات مائية .

مجموعة فيفيانيت	(الميل الواحد)	
فيفيانيت	Vivianite	$Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$
أريثريت	Erythrite	$Co_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$

٣ ـ فوسفات لامائية (وأرسينات الخ) محتوية على الهيدروكسيد أو الهالوجين

مجموعة أمبليجونيت (الميول الثلاثة) .

أمبليجونيت	Amblygonite	$LiAl(F.OH)PO_4$

مجموعة الأباتيت (السداسي)

أباتيت	Apatite	$Ca_5(F,Cl.OH)(PO_4)_3$
فلور أباتيت		$Ca_5F(PO_4)_3$
كلور أباتيت		$Ca_5Cl(PO_4)_3$
هيدروكسي أباتيت		$Ca_5(OH)(PO_4)_3$

مجموعة البيرومورفيت (السداسي)

بيرومورفيت	Pyromorphite	$Pb_5Cl(PO_4)_3$
ميميتت	Mimetite	$Pb_5Cl(AsO_4)_3$
فاديننيت	Vanadinte	$Pb_5Cl(VO_4)_3$
لازوليت (الميل الواحد)	Lazulite	$MgAl_2(OH)_2(PO_4)_2$

٤ ـ فوسفات مائية (وأرسينات الخ) ، محتوية على الهيدروكسيد أو الهالوجين

مجموعة التركواز (الميول الثلاثة)

توركواز	Turquoise	$CuAl_6(OH)_8(PO_4)_4.2H_2O$
وافيللت (المعيني القائم)	Wavellite	$Al_3(OH)_3(PO_4)_2 5H_2O$

مجموعة التوربيرنيت (الرباعي)

توربيرنيت	Torbernite	$Cu(UO_2)(PO_4)_2.8-12H_2O$
أوتونيت	Autunite	$Ca(UO_2)(PO_4)_2.10-12H_2O$
كارنوتيت (المعيني القائم)	Carnotite	$K_2(UO_2)_2(VO_4)_2.3H_2O$

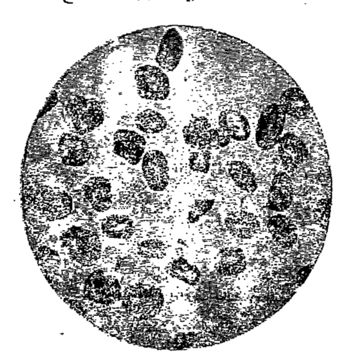
فوسفات عادية لامائية

مونازيت $[(Ce,La,Y,Th)PO_4]$

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . البلورات نادرة وعادة صغيرة جداً . يوجد المعدن غالبا في هيئة كتل حبيبية مثل الرمال ، شكل

(١٩٩) . الصلادة = ٥ — ٥ر٥ . الوزن النوعى = ٥ — ٣ر٥ . يوجد بالمعدن مستويات انفصال موازية للسطوح القاعدى {١٠٠} . البريق راتنجى . اللون بنى أصفر أو مائل للاحمرار . نصف شفاف .

التركيب الكيميائى : فوسفات الفلزات الأرضية النادرة خصوصا السيريوم واللانثوم والإيتريوم [$(Ce, La, Y, Th)PO_4$] يوجد الثوريوم عادة بالمعدن بنسبة قد تصل إلى ٢٠ ٪ ، ويحتوى المعدن أيضاً على نسبة من السليكا والتى تعزى إلى وجود معدن ثوريت Thorite ($ThSiO_4$) متداخلا مع المونازيت .



شكل (١٩٩) . حبيبات مونازيت فى الرمال السوداء برشيد مكبرة ميكروسكوبيا ٢٠ مرة

لاينصهر المعدن بمفرده ولا يذوب فى حامض الهيدروكلوريك ولكن ينصهر المعدن مع كربونات الصوديوم ويذوب الناتج فى حامض النتريك ، ويعطى هذا المحلول مع موليدات الأمونيوم راسبا أصفرا (دليل على وجود الفوسفات) .

يعتبر معدن المونازيت من المعادن النادرة نسبيا حيث يوجد كمعدن إضافى فى الصخور الجرانيتية والنيس وصخور الابليت والبجماتيت . وكذلك فى الرواسب الرملية (رواسب التجمعات) الناتجة من تفتت هذه الصخور . ويتركز المعدن فى هذه الرواسب الرملية نتيجة لخاصيته فى مقاومة التحلل الكيماوى وكذلك نتيجة

لوزنه النوعي العالي ، ولذلك يصاحب معادن أخرى تقاوم التحلل مثل الماجنتيت والاليفيت والروتيل والزرقون والجارنيت . وتعتبر سواحل البرازيل والهند أكبر مصادر لمعظم الإنتاج العالمي للمعدن . وفي مصر يوجد المعدن ضمن الرمال السوداء المترسبة على شاطيء البحر المتوسط عند رشيد ودمياط والبردويل والعريش ، وكذلك على ساحل البحر الأحمر مثل رأس ملعب وحمام فرعون.

يعتبر المونازيت المصدر الرئيسي لأكسيد الثوريوم حيث يحتوى المعدن على نسبة منه تتراوح بين ١ ٪ ، ٢٠ ٪ ، ويحتوى النوع التجاري من المونازيت على نسبة تتراوح بين ٣ ، ٩ ٪ ويستعمل الثوريوم الآن في الحصول على الطاقة الذرية .

فوسفات وأرسينات وفنادات عادية مائية

مجموعة فيفيانيت

فيفيانيت $[Fe_3(PO_4)_2.8H_2O]$

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . البلورات منشورية ، مخططة رأسيا ، وتوجد عادة في مجموعات شعاعية . كذلك يوجد المعدن في هيئة عقدية أو ترابية . الصلادة = ١ ½ — ٢ . الوزن النوعي = ٢,٥٨ — ٢,٦٨ .
الانفصام {٠١٠} كامل . البريق زجاجي ، ولؤلؤي على أوجه الانفصام .
عديم اللون في حالة عدم التحلل، أزرق أو أخضر عندما يكون متحللا. شفاف ويتحول إلى نصف شفاف عند تعرضه للعوامل الجوية .

معدن فيفيانيت من المعادن النادرة . وهو ثانوى النشأة حيث يتكون كنتائج لعوامل التجوية من المعادن الفوسفاتية الحديد ومنجنيزية الأولية التي توجد في صخور البجماتيت . كذلك يصاحب المعدن البيروتيت والبيريت في عروق القصدير والنحاس. كذلك يوجد المعدن في طبقات الطين، وقد يصاحب الليمونيت ويوجد عادة في الحفريات .

إريثريت $[Co_3(AsO_4)_2.8H_2O]$

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . البلورات منشورية

ومخططة رأسياً . يوجد المعدن عادة فى هيئة قشور كروية الشكل أو كلوية ، كذلك فى هيئة ترابية . الصلادة = ١½ — ٢½ . الوزن النوعى = ٣٫٠٦ .
الانفصام {٠١٠} كامل . البريق الماسى أو زجاجى . ولؤلؤى على أسطح الانفصام . اللون قرمزى أو أحمر وردى . نصف شفاف .

معدن إريثريت معدن نادر ثانوى النشأة ، يوجد كنانج لتحلل معادن الكوبالت الزرنيخية ، ويندر وجود المعدن بكميات كبيرة ، ويكون عادة قشوراً أو تجمعات دقيقة مالئة للشقوق . وبالرغم من أن الاريثريت ليس له فائدة إقتصادية إلا أن الجيولوجى يستفيد من وجوده كدليل على وجود معادن كوبالت أخرى وكذلك الفضة المصاحبة لها .

فوسفات وأرسينات وفنادات لامائية

محتوية على الهيدروكسيد والهالوجين

مجموعة أمبليجونيت

أمبليجونيت $[LiAl(F,OH)PO_4]$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميول الثلاثة ، نظام المسطوح . يوجد المعدن عادة فى هيئة كتل خشنة التبلور واضحة الانفصام . الصلادة = ٦ . الوزن النوعى = ٣٫٠–٣٫١ . الانفصام كامل وموازى للسطوح الأمامى {١٠٠} ، وغير كامل موازى لنصف المنشور {١١٠} . البريق زجاجى أو لؤلؤى على سطح الانفصام {١٠٠} اللون أبيض أو أخضر باهت أو أزرق باهت . نصف شفاف .

الأمبليجونيت من المعادن النادرة التى توجد فى صخور البجماتيت الجرانيتية حيث يصاحب المعدن معادن سبوديومين وتورمالين وليبيدوليت وأباتيت .
يستعمل المعدن كمصدر لعنصر الليثيوم .

مجموعة الاباتيت

أباتيت $[Ca_5(F,Cl,OH)(PO_4)_3]$

يتبلور المعدن فى فصيلة السداسى . نظام الهرم المنعكس . يوجد المعدن عادة فى هيئة بلورات منشورية طويلة . ولكن قد توجد بعض البلورات المنشورية القصيرة أو اللوحية . وتنتهى هذه البلورات بأهرامات ظاهرة من الرتبة الأولى وكذلك بالمسطوح القاعدى . كذلك يوجد المعدن فى هيئة كتل حبيبية أو متماسكة. الصلادة = ٥ (يكاد يخدش بنصل المبرأة) . الوزن النوعى = ٣ر١٥ — ٣ر٢٠ . الانفصام ضعيف وموازى للمسطوح القاعدى {١٠٠٠} . اللون عادة يميل إلى الأخضر أو البنى ، كذلك قد تكون بعض الأنواع زرقاء أو بنفسجية أو عديمة اللون . شفاف أو نصف شفاف .

التركيب الكيميائى: فوسفات الكالسيوم الفلوريدى ويعرف بإسم فلور أباتيت $Ca_5F(PO_4)_3$. أو قد يكون فى أحوال نادرة $Ca_5Cl(PO_4)_3$ ويعرف بإسم كلور أباتيت ، أو $Ca_5(OH)PO_4)_3$ ويعرف بإسم هيدروكسيل أباتيت ، والمعروف أن الفلورين والكلورين والهيدروكسيل تحل محل بعضها البعض فى البناء الذرى وتعطى متسلسلة كاملة من الأشكال المتشابهة .

أما أسم كوللوفين collophane فإنه يطلق على المادة الكتلية ذات النسيج الخفى التبلور أو الغروية . وتركيب الكوللوفين مثل الأباتيت إلا أنة يحتوى على شوائب مختلفة أهمها كميات قليلة من كربونات الكالسيوم . ويكون الكوللوفين معظم الصخور الفوسفاتية والحفريات العظامية . ولقد أثبتت الدراسات البنائية بالأشعة السينية أن الكوللوفين البناء الأساسى لمعدن أباتيت ولذلك لا يحتاج الأمر إلى اعتباره كمعدن مستقل بذاته .

ينصهر المعدن بصعوبة (درجة الانصهار من ٥ — ٥ر٥). يذوب فى الاحماض ويعطى محلول المعدن الذائب فى حامض النيتريك المخفف إذا أضيفت إليه كمية قليلة من محلول مولبدات الامونيوم راسبا أصفر عبارة عن فوسفومولبدات الامونيوم (احتبار الفوسفات) .

يتميز الاباتيت عادة بشكله البلورى ولونه وصلادته . كما يتميز عن معدن البيريل الأخضر الذى يشبهه بوجود الاشكال الهرمية التى تقفل البلورة عند نهايتها، وكذلك بصلادته الاقل من صلادة البيريل .

يعتبر معدن الاباتيت من المعادن الواسعة الانتشار ، حيث يوجد كمعدن إضافى فى جميع أنواع الصخور النارية والرسوبية والمتحولة . ويوجد المعدن أيضاً فى رواسب الالمينيت الحديدية المغناطيسية . وكذلك قد يوجد المعدن فى رواسب كبيرة أوعروق مصاحبة للصخور القلوية . وتعتبر الرواسب الموجودة بشبه جزيرة كولا (Kola) بالقرب من كيروفسك بالاتحاد السوفيتى أكبر رواسب للاباتيت فى العالم ، وهناك يوجد الاباتيت فى هيئة عدسة كبيرة تقع بين نوعين من الصخور القلوية ، ويوجد الأباتيت فى هيئة حبيبية مختلطا مع معدن نيفيلين .

أما النوع المعروف بإسم كولاوفين فيكون معظم الصخور الفوسفاتية أو الفوسفوريت ، وهذه توجد بكميات كبيرة فى شمال فرنسا وبلجيكا وأسبانيا . وكذلك فى شمال أفريقيا فى تونس والجزائر ومراكش . وفى مصر توجد رواسب الفوسفات بمنطقة القصير والحراوين وسفاجة على شاطىء البحر الاحمر، وكذلك فى بعض المناطق فى وادى النيل بالقرب من إدفو (السباعية) ، وفى الوادى الجديد (الواحات الخارجة والداخلة) وأيضاً فى شبه جزيرة سيناء .

يستعمل معدن الاباتيت الناتج من شبه جزيرة كولا فى أغراض التسميد أما رواسب الفوسفات التى تتكون معظمها من الكولوفين فهى التى تعتبر المصدر المهم المستعمل الآن فى التسميد . وتعالج فوسفات الكالسيوم بواسطة حامض الكبريتيك لتحويله إلى السوبر فوسفات، وبذلك يمكن أن تستفيد منه النباتات فى التربة لانه أسهل ذوبانا فى أحماض التربة الضعيفة من الفوسفات الاصلى .

وقد تستعمل بعض عينات معدن الاباتيت الشفافة ذات الالوان الرائعة فى صناعة الاحجار الكريمة ، ولكن نظراً لان المعدن ذو صلادة منخفضة فإن استعمالاته محدودة جداً فى الاحجار الكريمة .

مجموعة البيرومورفيت

تضم هذه المجموعة الثلاثة معادن للرصاص: احداها فوسفات (بيرومورفيت) والثانى زرنيخات (ميميتيت)، والثالث فنادات (فناديніت)، وتحتوى جميعها على كلورين. وتحل أيونات الفوسفور والزرنيخ والفناديوم محل بعضها البعض بمنتهى الحرية فى هذه المعادن الثلاثة المتشابه البناء، ويوجد كل تدرج ممكن فى التركيب الكيميائى بين المركبات الثلاثة النقية.

بيرومورفيت $(Pb_5Cl(PO_4)_3)$

يتبلور المعدن فى فصيلة السداسى، نظام الهرم المنعكس. البلورات منشورية ذات مسطوح قاعدى. غالباً ما توجد البلورات فى هيئة برميل وفى بعض الأحيان تكون البلورات جوفاء. يوجد المعدن عادة فى هيئة كروية أو كلوية أو إبرية أو حبيبية. الصلادة = ٣٫٥ — ٤٫٠ الوزن النوعى = ٦٫٥ — ٧٫١ . البريق راتنجى أو ألماسى. اللون يميل إلى الأخضر أو البنى أو الأصفر، نصف شفاف.

معدن بيرومورفيت من المعادن الثانوية التى تتكون فى الأجزاء العليا المتأكسدة من عروق الرصاص حيث يصاحب المعدن معادن الرصاص الأخرى.

ميميتيت $(Pb_5Cl(AsO_4)_3)$

يتبلور المعدن فى فصيلة السداسى، نظام الهرم المنعكس. البلورات منشورية وتبين المسطوح القاعدى والأهرامات. توجد البلورات غالباً فى هيئة برميل، أو مستديرة أو قشور كروية السطح. يشبه البيرومورفيت فى مظهره إلى حد كبير. الصلادة = ٣٫٥ . الوزن النوعى = ٧ — ٧٫٢ . البريق راتنجى أو ألماسى. عديم اللون، أو أصفر، أو بنى، أو برتقالى. نصف شفاف.

معدن ميميتيت من المعادن الثانوية النادرة نسبيا، ويوجد فى الأجزاء المتأكسدة من عروق الرصاص، حيث يصاحب معادن الرصاص الأخرى.

فناديniت $[Pb_5Cl(VO_4)_3]$

يتبلور المعدن فى فصيلة السداسى نظام الهرم المنعكس. البلورات منشورية

ذات مسطوح قاعدى . قد يوجد فى هيئة بلورات كروية وفى بعض الأحيان جوفاء . كذلك يوجد المعدن فى هيئة كروية أو قشور . الصلادة = ٣ . الوزن النوعى = ٦ر٧ — ١ر٧ . البريق راتنجى أو ألماسى . اللون أحمر كالياقوت أو أحمر برتقالى أو بنى أو أصفر شفاف أو نصف شفاف .

فنيدينيت من المعادن الثانوية النادرة التى توجد فى الأجواء العليا المتأكسدة من عروق الرصاص . يستعمل المعدن كمصدر لعنصر الفنيديوم وأيضاً كخام بسيط للرصاص .

لازوليت $[MgAl_2(OH)_2(PO_4)_2]$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . يوجد عادة فى هيئة كتلية حبيبية أو متماسكة .

الصلادة = ٥ — ٥½ . الوزن النوعى = ٠ر٣ — ١ر٣ . الانفصام منشورى {١١٠} غير واضح . اللون أزرق داكن (azure blue) . نصف شفاف .

التركيب الكيميائى : فوسفات المغنسيوم والألومنيوم القاعدية $MgAl_2(OH)_2(PO_4)_2$. يحل أيون الحديدوز محل المغنسيوم ، وتوجد متسلسلة كاملة بين اللازوليت والطرف الآخر الحديدى المعروف بإسم سكورزاليت .

لاينصهر المعدن . وينتفخ المعدن بالتسخين فى لهب البورى ، ويفقد لونه . ويتفتت إلى قطع صغيرة . يبيض المعدن بالتسخين فى الأنبوبة المقفولة ، ويعطى ماء . غير قابل الذوبان فى الماء . يعطى اختبار الفوسفات بعد حرق المعدن مع كربونات الصوديوم .

يصعب تمييز معدن لازوليت عن بقية المعادن الزرقاء دون الاستعانة باختبارات اللهب البورى والاختبارات الكيميائية . وذلك فى حالة عدم توفر البلورات .

معدن لازوليت من المعادن النادرة ، ويوجد المعـــدن عادة فى صخور الكوارتزيت مصاحبا معادن كيانيت ، أندلوسيت ، كوراندوم ، روتيل . يوجد فى بعض المناطق فى النمسا والسويد والولايات المتحدة الأمريكية . يستخدم المعدن كحجر كريم بسيط . الإسم مشتق من كلمة عربية بمعنى السماء بالنسبة إلى لون المعدن الأزرق .

فوسفات مائية ، الخ ، محتوية على الايدروكسيد والهالوجين

توركواز (الفيروز) $CuAl_6(OH)_8(PO_4)_4\,2H_2O$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميول الثلاثة ، نظام المسطوح . يندر أن يوجد فى هيئة بلورات ، ولكن يوجد عادة فى هيئة بلورات خفية . كذلك يوجد فى هيئة متماسكة أو كلوية أو استلاكتيتيه أو فى طبقات رقيقة أو حبيبات منتشرة . الصلادة = ٦ . الوزن النوعى = ٢٫٦ — ٢٫٨ . البريق شمعى . اللون أزرق أو أخضر يميل إلى الزرقة أو أخضر . نصف شفاف أو معتم .

التركيب الكيميائى : فوسفات الألومنيوم والنحاس القاعدية المائية ، $CuAl_6(OH)_8(PO_4)_4\,2H_2O$. قد يحل الحديديك محل الألومنيوم . لاينصهر المعدن . إذا بلل المعدن بحامض الهيدروكلوريك ثم سخن فى اللهب فإنه يلونه بلون لهب النحاس المميز (أخضر مائل للزرقة) . يعطى الاختبار الكيميائى لشق الفوسفات . إذا سخن فى الأنبوبة المقفولة فإنه يتحول إلى لون أسود ويعطى ماء . يتميز المعدن بسهولة بواسطة لونه . كما أنه أصلد من معدن كريزوكولا ، وهو المعدن الوحيد المشابه له فى اللون .

معدن التوركواز أو الفيروز من المعادن الثانوية النشأة حيث يوجد فى هيئة عروق أو شرائط دقيقة قاطعة للصخور البركانية المتحللة إلى حد ما . توجد رواسب الفيروز المشهورة بايران فى صخر التراكيت البركانى النشأة فى منطقة نيشابور بولاية خوراسان . يوجد المعدن فى هيئة عروق دقيقة فى مناطق متفرقة بشبه جزيرة سيناء . وقد استغله القدماء فى صناعة الأحجار الكريمة والجعارين .

يستعمل المعدن كحجر كريم حيث يقطع عادة فى أشكال مستديرة أو بيضاوية .

وافيلليت $[Al_3(OH)_3(PO_4)_2.5H_2O]$

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم ، نظام الهرم المنعكس . البلورات

نادرة ويغلب وجود المعدن فى هيئة مجموعات كروية ذات بلورات شعاعية . الصلادة = ٣٫٥ — ٤ . الوزن النوعى = ٢٫٣٣٠ . الانفصام كامل وموازى للمنشور {١١٠} والمسقوف {١٠١} . البريق زجاجى . اللون أبيض أو أصفر أو بنى . نصف شفاف .

معدن وافيلليت من المعادن الثانوية النادرة . يوجد المعدن بكميات صغيرة فى الشقوق والفواصل بالصخور المتحولة الغنية بالألومنيوم وكذلك فى رواسب الفوسفات والليمونيت . لايوجد المعدن فى الطبيعة بكميات كبيرة .

توربيرنيت $Cu(UO_2)_2(PO_4)_2.8-12H_2O$

يتبلور المعدن فى فصيلة الرباعى ، نظام الهرم المنعكس الرباعى المزدوج . يوجد المعدن فى بلورات لوحية مربعة الشكل . كذلك يوجد المعدن فى هيئة مجموعات قشرية أو ميكائية أو صفائحية .

الصلادة = ٢ — ٢٫٥ . الوزن النوعى = ٣٫٢٢ . الانفصام كامل وموازى للسطوح القاعدى {٠٠١} . الصفائح قابلة للكسر عنها فى حالة معدن أوتونيت . البريق زجاجى ، أو الماسى لؤلؤى على وجه الشكل {٠٠١} . اللون أخضر مثل الحشائش أو الزمرد أو التفاح . الخدش أخضر باهت . شفاف أو نصف شفاف . لايتضوأ المعدن عند تعرضه للأشعة فوق البنفسجية .

توربيرنيت من المعادن الثانوية التى تصاحب معدن أوتونيت وغيره من معادن اليورانيوم الثانوية نتيجة لأكسدة معدن اليورانينيت فى الأجزاء العليا من العروق المائية الحارة الحاملة للنحاس واليورانيوم . يوجد المعدن فى إقليم يواخيمستال بتشيكوسلوفاكيا وكذلك فى بعض مناطق سكسونيا وبوهيميا . كذلك يوجد بكميات كبيرة فى شيكولوبى بإقليم كاتنجا بزائير وفى مناطق أخرى .

أوتونيت $[Ca(UO_2)_2(PO_4)_2.10-12H_2O]$

يتبلور المعدن فى فصيلة الرباعى ، نظام الهرم المنعكس الرباعى المزدوج . البلورات لوحية تشبه كثيراً بلورات توربيرنيت . يوجد كذلك فى هيئة مجموعات

قشرية أوصفائحية الصلادة = ٢ — ٢٫٥ . الوزن النوعى = ٣٫١—٣٫٢ . البريق زجاجى ، أو لؤلؤى على سطح الشكل {١٠٠} . الانفصام كامل وموازى لأوجه الشكل {١٠٠} . غير قابل للكسر . اللون أصفر ليمونى أو كبريتى . الخدش أصفر باهت . شفاف أو نصف شفاف . يتضوأ بقوة إذا تعرض للأشعة فوق البنفسجية ويعطى لونا أخضرا مائلا للاصفرار .

أوتونيت من معادن اليورانيوم الثانوية حيث يوجد فى منطقة التأكسد والتجوية العروق المائية الحارة والبجماتيت الحاوية لليوارنينيت ومعادن اليورانيوم الأخرى . يوجد بمنطقة أوتون بفرنسا وفى البرتغال وألمانيا وزائير وجنوب استراليا .

كارنوتيت $[K_2(UO_2)_2(VO_4)_2.3H_2O]$

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم يوجد المعدن عادة فى هيئة مسحوق أو حبيبات دقيقة متجمعة فى مجموعات غير متماسكة جيدا ، وكذلك يوجد المعدن منتشرا فى بعض الصخور .

الوزن النوعى = ٥٫٠٣ (حسابيا) . الانفصام كامل وموازى للمسطوح القاعدى {١٠٠} . البريق معتم أو ترابى . اللون أصفر فاقع أو أصفر مائل للخضرة .

معدن كارنوتيت من المعادن الثانوية . ويعزى تكونه فى الطبيعة إلى تأثير المياه الأرضية على المعادن الأولية المحتوية على اليورانيوم والفناديوم . يوجد المعدن بصفة رئيسية فى إقليم الهضاب بجنوب غرب ولاية كولورادو Colorado plateau والولايات القريبة بالولايات المتحدة الامريكية وتوجد بعض التجمعات المركزة من المعدن النقى حول جذوع الأشجار المتحجرة . يستعمل معدن الكارنوتيت كخام للفناديوم وكذلك اليورانيوم فى الولايات المتحدة الامريكية .

المعادن السليكاتية

(Silicates)

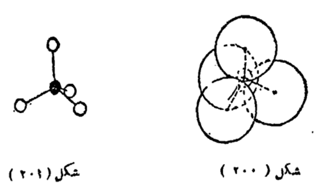
يضم هذا القسم عدداً كبيراً جداً من المعادن قدر بحوالى ٢٥ فى المائة من جميع المعادن المعروفة أو مايقرب من ٤٠ فى المائة من المعادن الشائعة . وباستثناء عدد بسيط جداً من المعادن نجد أن معظم المعادن المكونة للصخور النارية عبارة عن معادن سليكاتية ، وعلى ذلك تكون معادن هذا القسم مايقرب من ٩٠ فى المائة من القشرة الأرضية .

فإذا تذكرنا متوسط التركيب الكيمياوى للقشرة الأرضية نجد أن بين كل ١٠٠ ذرة فى القشرة يوجد حوالى ٥٠ ذرة أكسجين ، ٢٥ ذرة سليكون، ٨ ذرات ألومنيوم، أما الحديد والكالسيوم والمغنسيوم والصوديوم والبوتاسيوم فيوجد من كل منها ذرتان أو أكثر . وإذا استثنينا التيتانيوم فإننا نلاحظ أن جميع العناصر الأخرى ليس لها قيمة من ناحية الحجم الذى تشغله فى بناء القشرة الأرضية . ولما كان اهتمامنا بالمعادن وطبيعتها أساسه البناء الذرى وليس كمية العناصر بالوزن الداخلة فى تركيبها ،فإنه من الصواب تماما أن ننظر إلى مكونات القشرة بالنسبة للفراغ الذى تشغله بدلا من النسبة المئوية بالوزن لكمياتها . فإذا نحن فعلنا ذلك ، فإنه تبدو لنا صورة القشرة الأرضية فى هيئة هيكل تشغله ايونات الأكسجين مرتبطة بايونات السليكون والألومنيوم - الصغيرة الحجم ولكن ذات الشحنة العالية — فى صورة معقدة قد تكون كثيراً أو قليلا .أما الفراغات البينية فى هذا الهيكل المستمر من الأكسجين والسليكون والألومنيوم فإنها تشغل بأيونات المغنسيوم والحديد والكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم فى حالات تناسق تتناسب مع نصف قطر أيون كل منها .

ويتبين لنا أن المعادن الغالبة فى تركيب القشرة الأرضية هى السليكات والأكاسيد ، والتى تتوقف خواصها المختلفة على الظروف الكيميائية والفيزيائية لنشأتها . ومن بين المجموعات المختلفة للمعادن السليكاتية التى تميز الصخور النارية والرسوبية والمتحولة وعروق الخامات وصخور البجماتيت والصخور المتحولة

والتربة تقص علينا كل مجموعة منها شيئاً عن ظروف البيئة التي تكونت فيها . فإذا نظرنا إلى الصخور على أنها صفحات الكتاب الكبير الذى سجل فيه التاريخ الجيولوجى ، فإن المعادن هى الحروف التى طبعت بها صفحات هذا الكتاب ، وكلما فهمنا هذه الحروف وبنائها سهل علينا قراءة هذا السجل . وهناك دافع آخر يحدو بنا إلى دراسة المعادن السليكاتية : إن التربة الزراعية التى منها نستمد غذاءنا يتكون معظمها من معادن السليكات ، كذلك مواد البناء والأسمنت والزجاج إما أن تتكون من معادن سليكاتية أو مستمدة من معادن سليكاتية ، وتمدنا معادن السليكات بالخامات اللازمة لصناعة الخزف ، كما تسهم بنصيب كبير فى حضارتنا ومستوى معيشتنا .

إن النسبة بين نصف قطر أيون السليكون الرباعى التكافؤ (٤٢, A) إلى نصف قطر أيون الأكسجين (١,٣٢ A) تساوى ٠,٣١٨ . وتدل هذه النسبة على أن التناسق الرباعي يمثل الحالة المستقرة لمجموعات السليكون والأكسجين . إن الوحدة الأساسية فى تكوين بناء جميع المعادن السليكاتية تتكون من أربعة أيونات أكسجين عند أركان شكل رباعى الأوجه Tetrahedron ، حيث تحيط بأيون السليكون الرباعى التكافؤ وتتناسق معه شكل (٢٠٠) ، (٢٠١) . وهذا الرباط القوى الذى يربط بين أيونات



شكل (٢٠٠)　　　شكل (٢٠١)

الأكسجين والسليكون هو فى الحقيقة اللحام أو الأسمنت ، الذى يمسك مادة القشرة الأرضية فلا تسقط كسفا أو ترابا .

وبالرغم من أن المشاركة بين الاليكترونات موجودة فى رباط الأكسجين

السليكون ، إلا أن الطاقة الرابطة لايون السليكون فى مجموعها لاتزال موزعة بالتساوى بين جيرانه الأربعة : أيونات الأكسجين . وعلى ذلك ، فإن قوة أى رباط سليكون — أكسجين بمفرده تساوى نصف مجموعة الطاقة الرابطة الموجودة فى أيون الأكسجين ، ونتيجة لذلك ، يكون لكل أيون أكسجين المقدرة على الارتباط بأيون سليكون آخر ، والدخول فى مجموعة أخرى رباعية الأوجه. أى ترتبط مجموعتا رباعى الأوجه عن طريق أيون الأكسجين المشترك بينهما . وهذه المشاركة قد تتم عن طريق أيون أكسجين واحد من أيونات رباعى الأوجه الأربعة ، أو أيونين ، أو ثلاثة أيونات ، أو جميع الأيونات الأربعة ، مما يؤدى إلى تكوين أنواع متباينة من البناءات الذرية السليكاتية . ويمكننا أن نطلق على ارتباط المجموعات الرباعية الأوجه عن طريق المشاركة فى ذرات الأكسجين اسم « بلمرة » polymerization ، مستعيرين هذا اللفظ من الكيمياء العضوية ، هذه البلمرة هى السبب فى تنوع البنيات السليكاتية .

وهناك علاقة بسيطة ، ولكنها فى غاية الأهمية ، بين ظروف نشأة المعادن السليكاتية ودرجة البلمرة، هذه العلاقة هى: عندما تكون جميع العوامل الأخرى واحدة ، فإنه كلما ارتفعت درجة حرارة التكوين انخفضت درجة البلمرة ، والعكس صحيح . وتتأثر هذه العلاقة بعديد من العوامل الخارجية ، أهمها الضغط ودرجة التركيز الكيميائية . ولقد ادت الملاحظات على الاجسام الصخرية النارية المتبلورة على تأييد هذا الرأى بصفة عامة . فقد لوحظ منذ وقت طويل أن المعادن السليكاتية فى الصخور النارية تبدى نظاما وتتابعا فى تبلورها (يمكن التنبؤ به) يبتدىء بتبلور الاوليفين ، ثم البيروكسين ثم الامفيبول ثم الميكا . كذلك يبتدىء هذا النظام بمعادن البلاجيوكليز الغنية بالكالسيوم ، ثم ينتهى بالأرثوكليز والكوارتز (أنظر صفحة ٢١١) . ولقد أيدت التجارب العملية التى قام بها الاستاذ بوين Bowen وزملائه بالمعمل الجيوفيزيائى بواشنطن مثل هذا التتابع فى تكوين المعادن السليكاتية بانخفاض درجة الحرارة . ففى بدء عملية التبور فى المجما يتكون الاوليفين غير المتبلمر (درجات حرارة عالية). وفى نهاية عملية التبلور يتكون الارثوكليز والكوارتز المتبلمران تبلمرا كاملا (أيونات الاكسجين الاربعة فى رباعى الاوجه الواحد جميعها مشتركة مع

مجموعات رباعى أوجه أخرى) وذلك عند درجات الحرارة المنخفضة .

ويلى الالومنيوم عنصرى الأكسجين والسليكون فى الأهمية بالنسبة لبناء القشرة الأرضية . والألومنيوم ثلاثى التكافؤ نصف قطر أيونه يساوى ٥١ر٠ A . وتساوى النسبة بين نصف قطره ونصف قطر الأكسجين ٣٨٦ر٠ وتقابل هذه النسبة عدد التناسق الرباعى . ولكن يلاحظ أن هذه النسبة بين نصفى القطرين متقاربة جداً للحد الأعلى لعدد التناسق الرباعى (أنظر جدول ٢١ صفحة ١٦٨) لدرجة أن عدد التناسق السداسى ممكن أيضاً بالنسبة للالومنيوم ومستقر تماما مثل عدد التناسق الرباعى . وهذه المقدرة على القيام بدورين مختلفين فى بناء المعادن السليكاتية هى التى تكسب الالومنيوم أهميته البارزة فى الكيمياء البلورية للسليكات ، فعندما يتناسق الالومنيوم مع أربعة ذرات أكسجين عند أركان رباعى الاوجه الاربعة ، فإن المجموعة الناتجة تشغل نفس الفراغ الذى يشغله رباعى الاوجه المكون من السليكون والاكسجين . ويمكن أن ترتبط رباعيات أوجه سليكونية مكونة مجموعات متبلمرة . ومن ناحية أخرى يمكن لأيون الألومنيوم السداسى التناسق أن يقوم بربط مجموعات رباعية الأوجه بعضها ببعض بواسطة رابطة أيونية بسيطة ، أكثر ضعفا من تلك الرابطة التى تربط السليكون بالاكسجين فى رباعى الأوجة ، وعلى ذلك ، فمن الممكن أن يوجد الألومنيوم فى البنيات السليكاتية فى كل من :

١ — مركز رباعى الاوجه، ذو التناسق الرباعى، حيث يحل محل السليكون.

٢ — مركز ثمانى الأوجه، ذو التناسق السداسى ، حيث يحل محل المغنسيوم والحديد الثنائى والثلاثى التكافؤ فى هيئة محاليل جامدة .

ويميل كل من المغنسيوم ، والحديد ثنائى التكافؤ ، والمنجنيز ثنائى التكافؤ والالومنيوم والتيتانيوم رباعى التكافؤ إلى الوجود فى البنيات السليكاتية فى حالة سداسية التناسق بالنسبة للاكسجين . وبالرغم من أن هذه الايونات ثنائية وثلاثية ورباعية التكافؤ إلا أن ما تتطلبه من فراغ يكاد يكون واحداً ، وأن لها نفس نسبة نصف القطر إلى الاكسجين تقريبا ، وعلى ذلك تميل إلى أن تشغل نفس النمط type من المواقع الذرية . ويجب ألا يغيب عن هذا الذهن أنه فى حالة استبدال أيون ثنائى بآخر ثلاثى التكافؤ ، لابد أن يحدث فى مكان ما فى البناء

الذرى استبدال آخر بين أيون ثنائى التكافؤ وآخر أحادى التكافؤ حتى ينتج بناء متعادل الشحنات الكهربائية .

أما الكاتيونات الاكبر حجما وأقل شحنة كهربائية ، وهى الكالسيوم والصوديوم . نصف قطر أيونيهما ٠,٩٩ A ، ٠,٩٧ A على التوالى ، فانهما يتخذان مواقع عدد تناسقها يساوى ٨ ، أى تناسق مكعبى ، بالنسبة للأكسجين. وعند ما يحل الكالسيوم محل الصوديوم فان ذلك سوف يؤدى إلى عدم توازن الشحنات الكهربائية ، الامر الذى يحتم أن يتم فى نفس الوقت استبدال آخر بين كاتيون ثلاثى التكافؤ وآخر رباعى التكافؤ. فمثلا ، إذا حل أيون ألومنيوم محل أيون سليكون فى موقع رباعى التناسق ، تكون النتيجة أن يفقد البناء الذرى شحنة موجبة ، وفى هذه الحالة لابد أن يحل الكالسيوم محل الصوديوم فى موقع ثمانى التناسق ، وبذلك يحتفظ البناء الذرى بالتوازن والتعادل بين شحناته الكهربائية وهذا ما يحدث فى البناء الذرى لمعادن الفلسبار الصودية الكلسية ومعادن سكابوليت ، حيث يحل كل من الصوديوم والكالسيوم محل بعضها البعض بكل حرية .

أما أكبر الايونات حجما والشائعة فى بناء السليكات فهى أيونات البوتاسيوم والروبيديوم والباريوم والقلويات الارضية . ولاتحتل هذه الايونات عادة مواقع الصوديوم والكالسيوم ، بل توجد فى مواقع ذات عدد تناسق عال ذى نمط فريد . وعلى ذلك فإن علاقات المحاليل الجامدة بين هذه الايونات و بين الايونات الشائعة محدودة ، وتكون عادة محصورة فى البنيات المكونة فى درجات الحرارة العالية ، حيث تسهل الظروف تكوين المحاليل الجامدة .

وبالاختصار ، نلاحظ — كما هو مبين فى جدول (٣٠) — أن الإحلال أو الاستبدال الايونى شىء شائع وعام بين العناصر المبينة رموزها بين أى زوج من الخطوط الافقيه فى الجدول ، ولكنه شىء نادر وصعب بين العناصر التى تفصلها خطوط أفقية . ويمكننا هذا التعميم فى العلاقات الاستبدالية بين العناصر الشائعة من كتابة التركيب الكيميائى للسليكات فى هيئة قانون عام ، هكذا :-

$$X_m Y_n (Z_p O_q) W_r$$

المجموعة	عدد التناسق	الأيون +	نصف قطر الأيون (A)	نسبة $R_A : R_o$
Z	٤	Si^{4}	٠ر٤٢	٠ر٣٠٠
	٤	Al^{3}	٠ر٥١	٠ر٣٦٤
Y	٦	Al^{3}	٠ر٥١	٠ر٣٦٤
	٦	Fe^{3}	٠ر٦٤	٠ر٤٥٧
	٦	Mg^{2}	٠ر٦٦	٠ر٤٧١
	٦	Ti^{4}	٠ر٦٨	٠ر٤٨٦
	٦	Fe^{2}	٠ر٧٤	٠ر٥٥٩
	٦	Mn^{2}	٠ر٨٠	٠ر٥٧١
X	٨	Na	٠ر٩٧	٠ر٦٩٣
	٨	Ba^{2}	٠ر٩٩	٠ر٧٠٧
X	٨—١٢	K	١ر٣٣	٠ر٩٥٠
	٨—١٢	Ba^{2}	١ر٣٤	٠ر٩٥٧
	٨—١٢	Rb	١ر٤٧	١ر٠٥٠

جدول (٣٠) عدد التناسق للعناصر المكونة للسليكات

حيث X تمثل الايونات الكبيرة الحجم ، والمنخفضة الشحنة ،وعدد تناسقها ٨ أو أكثر (من الاكسجين) ، Y تمثل الايونات المتوسطة الحجم ، الثنائية أو الثلاثية أو الرباعية التكافؤ وعدد تناسقها ٦ ، Z تمثل الايونات الصغيرة عالية الشحنة وعدد تناسقها ٤ ، O عبارة عن الأكسجين ؛ W تمثل مجموعات انيونية إضافية مثل(OH)، او انيونات مثل Cl^{-}, F^{-} ، الخ. وتتوقف نسبة p : q على درجه بلمرة الهيكل السليكاتي ، اما بقيه الحروف m ، n ، r التي تمثل كميات متغيرة. فتتوقف على ظروف التعادل الكهربائي في السليكات. ويمكننا ان نعبر عن تركيب اى معدن سليكاتى شائع باستبدل الرموز الموجودة في هذا القانون العام بالعناصر الموجودة في ذلك المعدن . مثلا ، في معدن بيوتيت: القانون العام هو $X_m Y_n (Z_p O_q W_r)$.

وقانون المعدن هو: $K (Mg,Fe)_3 (AlSi_3O_{10}) (OH)_2$

وعلى اساس درجة البلمرة بين رباعيات الاوجه ، ومدى المشاركة في ايونات الاكسجين الاربعة ، يتكون الهيكل السليكاتى إما من رباعيات أوجه منفصلة

أو رباعيات أوجه مضاعفة ولكن منفصلة ، أو من سلسلة مفردة ، أو سلسلة مزدوجة ، أو صفائح ، أو هيكل متشابك في أبعاد ثلاثة . وتستعمل النسبة $p : q$ في القانون العام للمعادن السليكاتية (السليكون : الاكسجين) كأساس لتصنيف هذه المعادن ، إذ تتوقف الخواص الفيزيائية للمعـــدن واستقراره الكيميائي إلى حد كبير على هذه النسبة .

وحتى عام ١٩٣٠ ، كانت تحاليل السليكات تفسر عادة بالنسبة إلى أحماض افتراضية للسليكون . فمثلا ، الاوليفين Mg_2SiO_4 كان يسمى أرثوسليكات ، وكان يعتبر ملحا لحامض الارثوسيليسيك H_4SiO_4 : أما الإنستاتيت $MgSiO_3$ فكان يسمى ميتاسيلكات : وكان يعتبر ملحا لحامض الميتاسيليسيك H_2SiO_3 . ولكننا نعلم الآن ، نظرا إلى أن رابطة الهيدروجين رابطة ذات طبيعة غريبة ، أن مثل هذه الاحماض لاأهمية لها بالمرة بالنسبة للسليكات ، وتمخض هذا الدخان من الافكار المشوشة عن طبيعة السليكات إلى أفكار سليمة بنيت على أساس البناء الذرى تقدم بها الاستاذان براج وبراج . وتصنف المعادن السليكاتية الآن على أساس البناء الذرى كما يلى : جدول (٣١) .

القسم	ترتيب رباعيات الأوجه المكونة من SiO_4	نسبة O:Si	مثال من المعادن
نيزوسليكات Nesosilicates	منفصلة	١ : ٤	أوليفين $(Mg,Fe)_2SiO_4$
سوروسليكات Sorosilicates	مزدوجة	٢ : ٧	هيميمورفيت $Zn_4(Si_2O_7)(OH)_2.H_2O$
سيكلوسليكات Cyclosilicates	حلقات	١ : ٣	بيريل $Be_3Al_2(S_6O_{18})$
أينوسليكات Inosilicates	سلاسل (مفردة)	١ : ٣	إنستاتيت $Mg_2Si_2O_6$
	سلاسل (مزدوجة)	٤ : ١١	ترعوليت $Ca_2Mg_5(Si_8O_{22})(OH)_2$
فيلوسليكات Phyllosilicates	صفائح	٢ : ٥	تلك $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$
تكتوسليكات Tectosilicates	هيكل	١ : ٢	كوارتز SiO_2

جدول (٣١) : تصنيف المعادن السليكاتية

(فى هذا الجدول اشتقت هذه الصفات من اللغة اليونانية . نيزو : جزيرة ، سورو : مجموعة ، سيكلو : حلقة ، أينو : سلسلة، فيللو: صفحة، تكتو: هيكل)

المعادن النيزوسليكاتية

يضم هذا القسم جميع البنيات السليكاتية ذات رباعى الأوجه SiO_4 المنفصل وترتبط رباعيات الأوجه بعضها ببعض فقط عن طريق الكاتيونات البينية . وتتوقف هذه البنيات أساساً على حجم وشحنة هذه الكاتيونات البينية ، فقد تكون هذه الكاتيونات صغيرة الحجم مثل الحديد (الثنائى التكافؤ) والمغنسيوم كما فى معادن الأوليفين [$(Mg,Fe)_2$-SiO_4]، أو أيونات كبيرة الحجم نسبيا مثل الزرقونيوم (معدن الزرقون $ZrSiO_4$) والثوريوم (معدن الثوريت $ThSiO_4$) واليورانيوم (معدن كوفينيت $USiO_4$) . وقد تحل مجموعات(OH)إحلالا جزئيا محل SiO_4 . أما فى مجموعة معادن الجارنت فترتبط مجموعات رباعى الأوجه بعضها ببعض عن طريق نوعين من الكاتيونات . نوع ثنائى التكافؤ كبيرة الحجم (المغنسيوم والحديدوز والمنجنيز والكالسيوم) ، ونوع ثلاثى التكافؤ أصغر حجما (الألومنيوم والكروميوم والحديديك) ، ويكون لها القانون العام $A_3B_2(SiO_4)_3$ حيث A تمثل الكاتيونات الثنائية التكافؤ ، B تمثل الكاتيونات الثلاثية التكافؤ .

ويضم هذا القسم أيضاً الأشكال المتعددة الثلاثية للتركيب الكيميائى Al_2SiO_5 المعروفة بأسماء سيليمينيت وكيانيت وأندلوسيت وجميعها ذات هيئة اليافية وتوجد بصفة مميزة فى الصخور المتحولة .

كما يضم هذا القسم معادن توباز وستوروليت وداتوليت وديمورتيريت وجميعها ذات بنيات معقدة نتيجة لوجود الهيدروكسيد والفلورين والبورون فى تركيبها الكيميائى . أما فى معدن سفين $CaTiSiO_5$ فتوجد إحدى أيونات الأكسجين غير تابعة لرباعى الأوجه المنفصل .

وتصنف المعادن التابعة لهذا القسم كالآتى :

مجموعة فيناسيت

فيناسيت	Phenacite	$Be_2(SiO_4)$	الثلاثى
ويلليميت	Willemite	$Zn_2(SiO_4)$	الثلاثى

مجموعة الاوليفين

فورستريت	Forsterite	$Mg_2(SiO_4)$	المعينى القائم
فياليت	Fayalite	$Fe_2(SiO_4)$	المعينى القائم

مجموعة الجارنت

بيروب	Pyrope	$Mg_3Al_2(SiO_4)_3$	المكعب
ألمنديت	Almandite	$Fe_3Al_2(SiO_4)_3$	»
سبسارتيت	Spessartite	$Mn_3Al_2(SiO_4)_3$	»
جروسيولاريت	Grossularite	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$	»
أندراديت	Andradite	$Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$	»
يوفاروفيت	Uvarovite	$Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$	»

مجموعة الزرقون

زرقون	Zircon	$Zr(SiO_4)$	الرباعى

مجموعة سليكات الالومنيوم [Al_2SiO_5]

أندلوسيت	Andalusite	Al_2SiO_5	المعينى القائم
سيليمنيت	Sillimanite	Al_2SiO_5	المعينى القائم
كيانيت	Kyanite	Al_2SiO_5	الميول الثلاثة
توبلز	Topaz	$Al_2(SiO_4)(F,OH)_2$	المعينى القائم
ستوروليت	Staurolite	$Fe_2Al_6O_7(SiO_4)(O,OH)_2$	الميل الواحد

مجموعة كوندروديت

كوندروديت	Chondrodite	$Mg_5(SiO_4)_2(OH,F)_2$	الميل الواحد
داتوليت	Datolite	$CaB(SiO_4)(OH)$	
سفين	Sphene	$CaTiO(SiO_4)$	

مجموعه فيناسيت

فيناسيت (Be_2SiO_4)

فصيلة الثلاثى. الصلادة = ½ ٧ — ٨ . الوزن النوعى = ٢,٩٧ — ٣,٠٠ . الإنفصام غير كامل {٠٢١١} . البريق زجاجى . اللون أبيض . شفاف أو نصف شفاف . فيناسيت معدن نادر، يوجد فى جدد البجماتيت مصاحباً التوباز، كريزوبيريل ، بيريل ، أباتيت . قد يستعمل المعدن كحجر كريم .

ويلميت (Zn_2SiO_4)

فصيلة الثلاثى. كتلى أو حبيبى . الصلادة = ½ ٥ . الوزن النوعى = ٣,٩ — ٤,٢ . الانفصام {١٠٠٠} . البريق زجاجى أو راتنجى . اللون أخضر مائل للاصفرار ، أو أحمر أو بنى ، قد يكون أبيضاً عندما يكون نقياً . شفاف أو نصف شفاف . بعض العينات (من منطقة فرانكلين بولاية نيوجرسى بأمريكا) لها خاصية التضوء . قد يوجد المنجنيز حالا محل الزنك .

يوجد المعدن فى الصخور الجيرية المتحولة . نتيجة فى بعض الاحيان لتحول معدن هيميمورفيت أو سميثسونيت . يعتبر المعدن خاما مهماً للزنك .

مجموعة الأوليفين

أوليفين [$(Mg,Fe)_2(SiO_4)$]

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم ، نظام الهرم المنعكس . تتكون البلورات عادة من ثلاثة منشورات وثلاثة مسطوحات وهرم منعكس . يوجد المعدن عادة

فى هيئة كتل حبيبية أو حبيبات منتشرة وسط معادن أخرى . الصلادة = ٦,٥ — ٠٧ . الوزن النوعى = ٣,٢٧ — ٤٠٤ (تتوقف على كمية الحديد بالمعدن) . المكسر محارى . البريق زجاجى . اللون أخضر زيتونى إلى أخضر رمادى أو بنى . شفاف أو نصف شفاف .

التركيب الكيميائى : سليكات المغنسيوم والحديدوز ، $(Mg, Fe)_2SiO_4$ توجد متسلسلة كاملة من التشابه الشكلى بين الفورستريت Mg_2SiO_4 Forsterite وبين الفيالليت Fe_2SiO_4 Fayalite . وأغلب أنواع الأوليفين انتشاراً هى الغنية بالمغنسيوم .

الأوليفين من المعادن الشائعة نسبياً والمكونة للصخور ، وتختلف كمية وجوده فى الصخر من معدن إضافى إلى معدن أساسى يكون معظم الصخر . يوجد المعدن بصفة رئيسية فى الصخور الداكنة اللون الغنية بالحديد والمغنسيوم مثل صخور الجابرو والبريدوتيت والبازلت . وهناك نوع من الصخور فوق القاعدية يعرف بإسم الدونيت Dunite يتكون كله تقريباً من معدن الأوليفين . ويوجد المعدن كذلك كحبيبات زجاجية فى النيازك Meteorites . وأحياناً يوجد المعدن فى الصخور الجيرية والدولوميتية المتحولة . يصاحب الأوليفين معادن البيروكسينات والبلاجيوكليزات القاعدية والماجنتيت والكوراندوم والكروميت والسربنتين .

يعرف النوع الأخضر الشفاف من المعدن بإسم الزبرجد Peridot ، وقد استعمل قدماء المصريين هذا المعدن كحجر كريم . يوجد المعدن فى جزيرة الزبرجد St. John's Island بالبحر الأحمر جنوب مرسى علم .

الاوليفين من المعادن التى تتحلل بسهولة بواسطة العوامل الجوية حيث يتحول إلى معادن السربنتين وأيضاً معادن الماجنيزيت وأكاسيد الحديد .

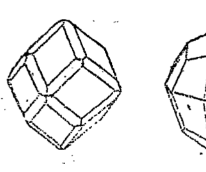
الإسم مشتق من لون المعدن الاخضر الزيتونى olive green ، ولذلك يطلق عليه أيضاً فى اللغة العربية اسم « الزيتونى » .

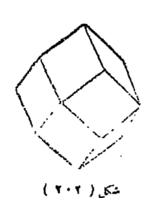
مجموعة معادن الجارنت

تشمل هذه المجموعة عدة أنواع من الجارنت تتبلور كلها فى فصيلة المكعب

نظام سداسى الثمانى الأوجه، وتتشابه جميعا فى هيئتها وتركيبها الكيميائى الأساسى ولكن العناصر الداخلة فى هذا التركيب تختلف اختلافا بينا .

يغلب على بلورات هذه المعادن أشكال الإثنى عشر وجها معيناً، شكل (٢٠٢) والأربعة وعشرون وجها منحرفا ، شكل (٢٠٣) ، حيث يوجد الشكلان يجتمعان مع بعضها عادة على البلورة الواحدة ، شكل (٢٠٤) .





شكل (٢٠٤) شكل (٢٠٣) شكل (٢٠٢)

الصلادة = ٦٫٥ — ٧٫٥ . الوزن النوعى = ٣٫٥ — ٤٫٣ . (يتغير حسب تغير التركيب الكيميائى) ، البريق زجاجى أو راتنجى . اللون متغير حسب التركيب الكيميائى ، ولكن تكثر الألوان الحمراء، وكذلك اللون البنى والأسمر والأبيض والأخضر والأسود . المخدش أبيض. شفاف أو نصف شفاف.

التركيب الكيميائى : معادن الجارنت عبارة عن سليكات ينطبق عليها القانون $A_3B_2(SiO_4)_3$ حيث A تمثل الأيونات ثنائية التكافؤ مثل الكالسيوم والمغنسيوم والحديدوز والمنجنيز ، B تمثل الأيونات ثلاثية التكافؤ مثل الألومنيوم والحديديك والتيتانيوم والكروميوم. وفيما يلى بيان بالأنواع المختلفة وتركيبها الكيميائى (انظر القانون الكيميائى على صفحة ٣٦٨) ووزنها النوعى:

اسم نوع المعدن	التركيب الكيميائى	الوزن النوعى
بيروب	سليكات مغنسيوم وألومنيوم	٣٫٥٨
ألماندين	سليكات حديدوز وألومنيوم	٤٫٣٣
سبارتيت	سليكات منجنيز وألومنيوم	٤٫١٩
جروسيولاريت	سليكات كالسيوم وألومنيوم	٣٫٥٩
أندراديت	سليكات كالسيوم وحديديك	٣٫٨٦
وفاروفيت	سليكات كالسيوم وكروميوم	٣٫٨٠

بيروب : لونه أحمر قانى أو أسود تقريبا. يوجد عنصر الكالسيوم والحديد عادة ضمن التركيب الكيميائى للمعدن . شفاف وتستعمل هذه الأنواع كحجر كريم.

ألموندبت : لونه أحمر رائق. تستخدم الأنواع الشفافة منه فى الأحجار الكريمة ، أما الانواع الأخرى فهى نصف شفافة ذات لون بنى مائل للاحمرار . قد يوجد عنصر الحديديك (محل الألومنيوم) والمغنسيوم (محل الحديدوز) .

سبسارتيت : اللون بنى أو أحمر ، قد يحل الحديدوز محل جزء من المنجنيز وكذلك الحديديك محل جزء من الالومنيوم .

جروسيولاريت : اللون أبيض أو أخضر أو أصفر أو بنى مائل للاحمرار أو أحمر باهت . يحتوى عادة على الحديدوز (محل الكالسيوم) والحديديك (محل الالومنيوم) .

أندراديت : اللون يختلف مابين الأصفر والأخضر والبنى والأسود . وقد يحل الألومنيوم محل الحديديك والحديدوز والمنجنيز والمغنسيوم محل الكالسيوم

يوفاروفيت : اللون أخضر زمردى .

درجة انصهار معادن الجارنت هى ٣ — ٣٫٥ باستثناء يوفاروفيت الذى لاينصهر ، وتنصهر الانواع الحديدية (ألمونديت وأندراديت) إلى كرات مغناطيسية . لاتذوب معادن الجارنت فى الاحماض .

تتميز معادن الجارنت ببلوراتها المكعبة وصلادتها وألوانها . وقد يحتاج الامر إلى التحليل الكيميائى للتفرقة بين الأنواع المختلفة . ولكن يمكن الاستعاضة عن التحليل الكيميائى بتعيين الوزن النوعى ومعامل الانكسار التى تؤدى إلى التفرقة بينها .

الجارنت من المعادن الشائعة الواسعة الإنتشار ، حيث يوجد المعدن كمكون إضافى فى الصخور المتحـــولة وكذلك فى عروق البجماتيت وفى بعض أنواع الجرانيت . أما الجروسيولاريت فإنه يوجد بصفة أساسية فى الصخور الجيرية

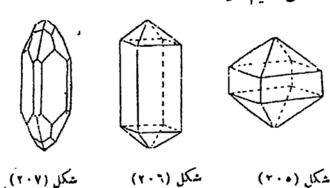
المتحولة نتيجة للتحول الحرارى أو الإقليمى . ويحتوى الشست الميكائى على نوع الألموندين . أما البيروب فانه يوجد عادة فى صخور البيريدوتيت والسربنتين الناتجة من تحولها . أما سبسارتيت فيوجـــد فى صخر الريوليت . ويوجد اليوفاروفيت فى صخر السربنتين مع معدن كروميت . كذلك يوجد معدن الجارنت كحبيبات مستديرة ضمن رمال الشواطىء فى بعض الأماكن مثل الرمال السوداء عند رشيد ودمياط .

يستعمل معدن الجارنت (الأخضر والأحمر الشفاف) كحجر كريم متوسط الثمن . وتستعمل كميات كبيرة من المعدن العادى فى صناعة أحجار التجليخ وورق الصنفرة وأحجار الطحن والنشر وذلك نتيجة لصلادة المعدن العالية .

مجموعة الزرقون

زرقون [$Zr(SiO_4)$]

يتبلور المعدن فى فصيلة الرباعى ، نظام الهرم المنعكس الرباعى المزدوج . يوجد على البلورة مجموعة بسيطة من شكلى المنشور والهرم المنعكس من الرتبة الاولى ، شكل (٢٠٥) ، (٢٠٦) ، (٢٠٧) . كذلك يوجد المعدن فى هيئة حبيبات غير منتظمة . الصلادة = ٧٫٥ . الوزن النوعى = ٤٫٦٨ . البريق ألماسى . اللون بنى ، كذلك توجد عينات عديمة اللون أو رمادية أو خضراء أو حمراء . المخدش عديم اللون . نصف شفاف .



شكل (٢٠٥)　　شكل (٢٠٦)　　شكل (٢٠٧)

التركيب الكيميائى : سليكات الزرقونيوم ، $Zr(SiO_4)$ ، ZrO_2 = ٦٧٫٢ ٪ ، SiO_2 = ٣٢٫٨ ٪ . لا ينصهر المعدن ولا يذوب فى الأحماض . إذا سخنت قطعة صغيرة من المعدن بشدة فى اللهب فانها تتوهج وتعطى ضوءاً أبيضاً .
يتميز المعدن بشكله البلورى ولونه وبريقه وصلادته ووزنه النوعى العالى .

معدن الزرقون من المعادن الشائعة الواسعة الإنتشار فى جميع أنواع الصخور النارية ، ويغلب وجوده فى الأنواع الحمضية مثل الجرانيت والجرانوديوريت والسيانيت والمونزونيت ويكثر وجوده فى صخر السيانيت النيفيليتى . يوجد المعدن كذلك فى الصخور الجيرية المتحولة والشست والنيس . كذلك يكثر وجوده فى هيئة حبيبات مستديرة فى رمال الشواطىء النهرية والبحرية مثل رمال شاطىء رشيد ودمياط ، وكذلك رمال شواطىء استراليا والبرازيل وفلوريدا .

توجد الأنواع المستعملة فى الأحجار الكريمة فى رمال الشواطىء النهرية بمنطقة ماتورا بسيريلانكا وفى الحصى المختلط بالذهب فى جبال الأورال واستراليا أما البلورات الكبيرة من المعدن فانها توجد فى جزيرة مدغشقر .

تستعمل الأنواع الشفافة من المعدن فى الاحجار الكريمة ، ويستعمل المعدن العادى كمصدر لأكسيد الزرقونيوم الذى يستخدم فى صناعة الحراريات التى تتحمل درجات عالية من الحرارة دون أن تنصهر .

من الانواع المشابهة للزرقون فى الشكل والبناء ، معدن الثوريت $Th(SiO_4)$

مجموعة معادن سليكات الألومنيوم [Al_2SiO_5]

أندلوسيت [Al_2SiO_5]

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم ، نظام الهرم المنعكس . يوجد عادة فى هيئة منشورات مربعة منتهية بالمسطوح القاعدى . الصلادة = ٧٫٥ . الوزن النوعى = ٣٫١٦ — ٣٫٢٠ . البريق زجاجى . اللون أحمر باهت أو بنى مائل إلى الاحمرار أو أخضر زيتونى . يحتوى النوع المسمى باسم كياستوليت Chiastolite على شوائب كربونية سوداء اللون مرتبة فى هيئة صليب . شفاف أو نصف شفاف أو معتم .

يتميز المعدن بأشكاله البلورية المنشورية المربعة تقريباً وصلادته العالية وعدم انصهاره . أما النوع المسمى « كياستوليت » فيسهل تمييزه بواسطة محتوياته الكربونية المرتبة فى هيئة صليب .

يتكون معدن أندلوسيت فى الطبيعة نتيجة للتحول الحرارى للصخور الطينية والإردواز . وقد يتكون المعدن نتيجة للتحول الإقليمى للصخور وخصوصاً التى يتصل تحولها بتدخل الجرانيت .

سيليمنيت (Al_2SiO_5)

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم ، نظام الهرم المنعكس . يوجد فى هيئة بلورات رفيعة غالباً فى مجموعات متوازية . كذلك يكثر وجود البلورات الإبرية. الصلادة = ٦ — ٧ . الوزن النوعى = ٣٫٢٢ . الانفصال كامل وموازى للمسطوح الجانبى {٠١٠} البريق زجاجى . اللون بنى أو أخضر باهت أو أبيض . شفاف أو نصف شفاف .

يعتبر معدن السيليمنيت من المعادن النادرة نسبيا . يوجد المعدن فى صخور الشست والنيس ذات التحول الحرارى العالى . يصاحب المعدن عادة معدن كوراندوم .

كيانيت (Al_2SiO_5)

يتبلور المعدن فى فصيلة الميول الثلاثة ، نظام المسطوح . يوجد عادة فى هيئة بلورات طويلة لوحية غير منتهية بأوجه بلورية ، كذلك يوجد فى هيئة مجموعات نصلية bladed . الصلادة = ٥ فى إتجاه موازى لطول البلورة ، ٧ فى اتجاه متعامد على طول البلورة . الانفصال مسطوحى {١٠٠} كامل . الوزن النوعى = ٣٫٥٦ — ٣٫٦٦ . البريق زجاجى أو لؤلؤى . اللون غالباً أزرق يزداد عمقاً تجاه الداخل . كذلك توجد بعض العينات بيضاء أو رمادية أو خضراء اللون. يتميز المعدن ببلوراته النصلية ولونه الأزرق والاختلاف الواضح فى صلادته باختلاف الاتجاه . يوجد فى الصخور المتحولة (النيس والشست) .

توباز [$Al_2(SiO_4)(F,OH)_2$]

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم، نظام الهرم المنعكس. البلورات منشورية منتهية بأهرامات ومسطوح قاعدى . أسطح المنشور تكون عادة مخططة . يغلب

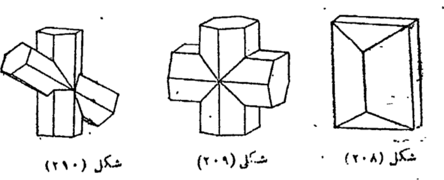
وجود المعدن فى هيئة بلورات ولو أنه يوجد فى بعض الأحيان فى هيئة كتل متبلورة أو حبيبية خشنة أو دقيقة الحبيبات .

الصلادة = ٨ . الوزن النوعى = ٣٫٥ - ٣٫٦ . الانفصام كامل وموازى للسطوح القاعدى {١٠٠} . البريق زجاجى . اللون أصفر مثل القش أو مائل للاحمرار أو الزرقة أو الخضرة . شفاف أو نصف شفاف . يتميز المعدن بشكله البلورى وانفصامه القاعدى وصلادته العالية (٨) ووزنه النوعى العالى .

يتكون معدن التوباز فى الصخور نتيجة لتفاعل الأبخرة الحاملة للفلورين والمنطلقة فى المراحل الأخيرة من تجمد المجما عقب تبلور الصخور النارية . يوجد المعدن فى فجوات فى صخور الريوليت البركانى . وكذلك فى الجرانيت والبجماتيت خصوصاً الأنواع التى تحتوى على القصدير . ويصاحب المعـــدن التورمالين والكاسيتريت والأباتيت والفلوريت والبيريل (الزمرد) والكوارتز والميكا والفلسبار . أحيانا يوجد المعدن كحبيبات مستديرة فى رمال المياه الجارية . يستعمل المعدن كحجر كريم .

ستوروليت [$Fe_2AlqO_6(SiO_4)_4(O,OH_2)$]

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم . نظام الهرم المنعكس . البلورات منشورية ، شكل (٢٠٨) . يكثر وجود البلورات التوأمية فى هيئة صليب ، شكل (٢٠٩) ، (٢١٠) . يندر وجود المعدن فى هيئة مجموعات .



شكل (٢٠٨)   شكل (٢٠٩)   شكل (٢١٠)

الصلادة = ٧ - ٧٫٥ . الوزن النوعى = ٣٫٦٥ - ٣٫٧٥ . البريق زجاجى أو راتنجى عندما يكون المعدن غير متحلل ، ولكنه يصبح معتما أو

مطفيا عندما يتحلل أو يحتوى على شوائب . اللون بنى مائل إلى الاحمرار أو أسود بنى ، نصف شفاف أو معتم .

معدن ستوروليت من المعادن الاضافية فى صخور الشست المتبلورة والاردواز وفى بعض الأحيان النيس . يصاحب المعدن عادة الجارنت والكيانيت والتورمالين .

مجموعة كوندروديت

كوندروديت $[Mg_5(SiO_4)_2(F,OH)_2]$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . يوجد فى هيئة حبيبات أو كتل . الصلادة = ٦ — ٦ ½ . الوزن النوعى = ٣,١ — ٣.٢ . البريق زجاجى أو راتنجى . اللون أصفر باهت أو أحمر . نصف شفاف .

التركيب الكيميائى : سليكات المغنسيوم الفلورية ، ويحل الهيدروكسيد محل الفلورين . كما أن الحديد يحل محل جزء من المغنسيوم . تشمل مجموعة كوندروديت أربعة أنواع هى : نوربيرجيت ، كوندروديت ، هيوميت ، كلينوهيوميت .

ومعدن كوندروديت أكثر معادن هذه المجموعة انتشاراً ، حيث يوجد فى الصخور الجيرية الدولوميتية المتحولة مصاحبا معادن فلوجوبيت . سبينل ، بيروتيت ، جرافيت .

داتوليت $[CaB(SiO_4)(OH)]$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . يوجد عادة فى هيئة بلورات أو حبيبات . كذلك يوجد فى هيئة كتلية متماسكة تشبه الخزف المطفى الصلادة = ٥ — ٥ ½ . الوزن النوعى = ٢,٨ — ٣,٠٠ . البريق زجاجى عديم اللون أو أبيض . عادة مائل للخضرة . شفاف أو نصف شفاف .

داتوليت معدن ثانوى النشأة . يوجد عادة فى الفجوات الموجودة فى طفوح البازلت والصخور المشابهة حيث يصاحب معادن الزيوليت والبرهنيت وأبوفيلليت وكالسيت .

سفين $[CaTiO(SiO_4)]$

(يعرف أيضاً باسم تيتانيت)

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . تختلف البلورات فى هيئاتها . تأخذ الأشكال البلورية الموجودة على المعدن شكل الوتد wedge—shaped الصلادة = ٥ — ٥,٥ . الوزن النوعى = ٣,٤ — ٣,٥٥ . الانفصام منشورى أو مستوفى . البريق راتنجى أو الماسى . اللون رمادى أو بنى أو أخضر أو أصفر أسود . شفاف أو نصف شفاف .

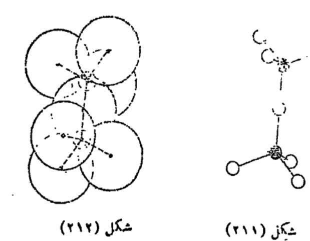
سفين من المعادن الاضافية الشائعة نسبيا فى الصخور النارية مثل الجرانيت والجرانوديوريت والديوريت والسيانيت النيفيلينى حيث يوجد فى هيئة بلورات صغيرة . كذلك يوجد فى هيئة بلورات كبيرة نسبيا فى الصخور المتحولة مثل النيس والشست والأحجار الجيرية المتبلورة . يصاحب عادة معدن كلوريت .

ديموريتريت $[(Al,Fe)_7O_3(BO_3)(SiO_4)_3]$

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم . يوجد عادة فى هيئة مجموعات متبلورة ليفية أو عمدانية ، غالبا شعاعية . الصلادة = ٧ . الوزن النوعى = ٣,٢٦ — ٣,٣٦ . الانفصام {١٠٠} ضعيف . البريق زجاجى . اللون أزرق أو أزرق مائل للخضرة أو بنفسجى أو وردى . شفاف أو نصف شفاف . التركيب الكيميائى : سليكات الألومنيوم البورونية . يوجد المعدن فى صخور الشست والنيس ، وفى أحوال نادرة يوجد فى جدد البجماتيت . يستغل المعدن من مناجمه بولاية نيفادا بأمريكا حيث يستخدم فى صناعة الخزف من النوع الجيد جداً .

المعادن السوروسليكاتية

يضم هذا القسم المعادن التى تتميز بوجود مجموعات مزدوجة لرباعى الاوجه مكونة من رباعيى أوجه SiO_4 مرتبطين عن طريق اشتراكهما فى ذرة أكسجين شكل (٢١١) ، (٢١٢) . وتكون نسبة السليكون الى الاكسجين فى مثل هذا البناء كنسبة ٢ : ٧ .



شكل (٢١١)　　　　شكل (٢١٢)

وتعتبر مجموعة معادن الابيدوت أهم المعادن التى تنتمى إلى قسم السوروسليكات ، ويحتوى بناء الابيدوت المعقد على مجموعات من SiO_4 المنفصلة و Si_2O_7 . وفى التركيب الكيميائى يوجد نوعان من الكاتيونات فى الابيدوت ، مثله فى ذلك مثل الجارنت . فتضم الانواع الممثلة بالرمز X الكاتيونات الكبيرة نسبيا والضعيفة الشحنة مثل الكالسيوم والصوديوم . أما النوع الثانى Y فيضم الكاتيونات الاصغر والاعلى شحنة مثل الالومنيوم والحديديك والمنجنيز ثلاثى التكافؤ وفى حالات نادرة المنجنيز ثنائى التكافؤ . وعلى ذلك يمكن كتابة القانون العام للابيدوت هكذا $X_2Y_3O(SiO_4)(Si_2O_7)(OH)$.

وجميع أفراد مجموعة الابيدوت (باستثناء زويست) متشابهة البناء وتتبلور فى فصيلة الميل الواحد حيث تستطيل فى اتجاه المحور ب .

وتضم مجموعة المعادن السوروسليكاتية ، بالاضافة إلى مجموعة معادن الابيدوت، معادن: فيزوفيانيت (الذى له بناء ذرى مشابه للابيدوت. أى يحتوى على كل من Si_2O_7 ، SiO_4) وهيميمورفيت ولاوسونيت وبرهنيت .

هيميمورفيت $Zn_4(Si_2O_7)(OH)_2.H_2O$

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم ، نظام الهرم . البلورات لوحية موازية للسطوح الجانبى . يوجد المعدن عادة فى هيئة مجموعات بلورية حيث تلتصق البلورات بنهاياتها السفلى ، وقد تتفرق البلورات عن بعضها البعض فتبدو كمجموعات دائرية . كذلك توجد المجموعات البلورية للمعدن فى هيئة كروية أو حبيبية أو استلاكتيتية أو ترابية

الصلادة = ٤٫٥ — ٥ . الوزن النوعى = ٣٠٤ — ٣٠٥ . الانفصام منشورى {١١٠} . البريق زجاجى . اللون أبيض ولكنه فى بعض الأحيان يكون أزرقا باهتا أو أخضرا باهتا . شفاف أو نصف شفاف . المعدن لخاصية الكهرباء الحرارية واضحة .

معدن هيميمورفيت من المعادن الثانوية النشأة حيث يوجد فى الاجزاء العليا المتأكسدة من رواسب الزنك . ويصاحب المعدن معادن سميثسونيت وسفاليريت وسيروسيت وانجليزيت وجالينا . يستعمل المعدن كخام للزنك .

مجموعة معادن الابيدوت

تتكون معادن الابيدوت من عدة سليكات الألومنيوم والكالسيوم المعقدة ولها القانون العام $X_2Y_3O(SiO_4)(Si_2O_7)(OH)$ ، جدول (٤٢) . وتتبلور معادن هذه المجموعة بأستثناء الزويسيت فى فصيلة الميل الواحد .

المعدن	Y	X
كلينوزويسيت	Al	Ca
إبيدوت	Al, Fe'''	Ca
بيدمونتيت	Al, Fe''', Mn''	Ca
الانيت	Al, Fe''', Be, Mg, Mn''	Ca, Ce, La, Na

جدول (٣٢) : معادن مجموعة الابيدوت

كلينوزويسيت

$Ca_2Al_3O(SiO_4)(Si_2O_7)(OH)$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور : البلورات منشورية موازية للمحور ب ومخططة فى هذا الاتجاه . الصلادة = ٦ — ٦½ ، الوزن

النوعى = ٣٫٢٧-٣٫٢٥ . البريق زجاجى . اللون رمادى أو أبيض أو أخضر رمادى . شفاف أو نصف شفاف . التركيب الكيميائى : سليكات مائية الكالسيوم والألومنيوم : توجد متسلسلة كاملة من المحاليـــل الجامدة بين كلينوزويسيت وإبيدوت . يوجد المنجنيز فى النوع الأحمر الوردى المعروف باسم توليت Thulite .

يوجد المعدن عادة فى صخور الشست التى تكونت نتيجة لتحول الصخور النارية الداكنة التى تحتوى على معادن الفلسبار الكلسية ، ويصاحب عادة معادن الأمفيبول ، يوجد فى الصخور النارية كنتائج تحلل لمعادن البلاجيوكليز .

زويسيت Zoisite معدن له نفس تركيب كلينوزويست الكيميائى . يشبه المعدن كلينوزويسيت فى المظهر والوجود فى الطبيعة ، ولكنه أقل انتشارا من كلينوزويسيت .

ابيدوت

$Ca_2(Al,Fe)Al_2O(SiO_4)(Si_2O_7)(OH)$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد نظام المنشور . البلورات عادة طويلة مخططة فى موازاة المحور ب . يوجد المعدن فى بلورات خشنة أو دقيقة الحبيبات . كذلك يوجد فى هيئة أليافية . الصلادة = ٦ - ٧ . الوزن النوعى = ٣٫٢٥-٣٫٤٥ . الانفصام كامل ومواز للمسطوح القاعدى {١٠٠} وغير كامل موازى للسطوح الأمامى {١٠٠} . البريق زجاجى . اللون أخضر فستقى أو أخضر مائل إلى السواد أو الاصفرار ، وقد يكون أسودا فى بعض العينات . شفاف أو نصف شفاف . درجة الانصهار ٣ - ٤ ، مع حدوث انتفاخ ورغوة . يتميز المعدن بلونه الأخضر وانفصامه الكامل فى مستوى واحد .

يوجد معدن إبيدوت عادة فى الصخور المتحولة مثل النيس والأمفيبوليت والشست بأنواعه المختلفة . حيث ينتج المعدن من تحلل معادن الفلسبار والبيروكسين والامفيبول والبيوتيت . يصاحب المعدن عادة معدن كلوريت . يتكون معدن

إبيدوت أيضاً أثناء التحول الحرارى للصخور الجيرية غير النقية. يعتبر الابيدوت من المعادن الواسعة الانتشار .

معدن بيدمونتيت Piedmontite نوع يشبه الأبيدوت فى البناء والتركيب الكيميائى ولكنه يحتوى على المنجنيز (ثلاثى التكافؤ) ، ويوجد فى صخور الشست وخامات المنجنيز .

ألانيت (أورثيت)

$X_2Y_3O(SiO_4)(Si_2O_7)(OH)$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . يوجد عادة فى هيئة كتليه أو فى هيئة حبيبات منتشرة . الصلادة = ٥,٥-٦ . الوزن النوعى = ٣,٥-٤,٢ . البريق تحت فلزى أو راتنجى أو مثل القار Pitchy . اللون بنى أو أسود كالقار ، وقد يوجد المعدن مغطى بطبقة رقيقه صفراء بنية ناتجة من تحلل المعدن. نصف شفاف . له خاصيه النشاط الإشعاعى ولكن بشكل ضعيف .

يوجد ألانيت كمعدن إضافى بصفة قليلة فى كثير من الصخور النارية مثل الجرانيت والسيانيت والبجماتيت ويغلب تواجده مع معدن إبيدوت . وقد وجد المعدن أيضاً فى بعض الصخور الجيريه المتحولة بالحرارة، وكذلك فى بعض رواسب الماجنتيت . يوجد المعدن فى مصر فى عروق البجماتيت بوادى الجمال بالصحراء الشرقية الجنوبية . كما يوجد منتشرا فى بعض أنواع الجرانيت بمنطقة أسوان .

فيزوفيانيت (ايدوكريز)

$Ca_{10}(MgFe_2)Al_4(SiO_4)_5(Si_2O_7)_2(OH)_4$

يتبلور المعدن فى فصيلة الرباعى ، نظام الهرم المنعكس الرباعى المزدوج البلورات منشورية الهيئة وتتكون عاده مخططة طوليا . يوجد المعدن عادة فى هيئة بلورات ، ولكن المجموعات المعدانية أكثر انتشارا . كذلك يوجد فى هيئة كتليه أو حبيبية . الصلادة = ٦ ½ الوزن النوعى = ٣,٣٥-٣,٤٥ . البريق

زجاجى أو راتنجى . اللون عادة أخضر أو بنى ، كذلك قد يكون أصفرا أو أزرقا أو أحمرا . نصف شفاف . الخدش أبيض .

يوجد المعدن عادة فى الصخور الجيرية المتبلورة نتيجة للتحول الحرارى . اكتشف المعدن فى أول الأمر فى طفوح بركان فيزوف القديمة وكذلك فى الكتل الدولوميتية فى مونت سوما بإيطاليا .

بريهنيت $Ca_2Al_2(Si_3O_{10})(OH)_2$

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم . يوجد عادة فى هيئة مجموعات متبلورة كاوية أو استلاكتيتية أو مجموعات كروية لبلورات مسطحة (لوحية) . الصلادة = ٦ — ٦ ½ . الوزن النوعى = ٢٫٨ ، ٢٫٩٥ . البريق زجاجى اللون عادة أخضر فاتح مائل للبياض . نصف شفاف .

يوجد بريهنيت كمعدن ثانوى النشأة فى الفراغات فى صخر البازلت والصخور المماثلة . يصاحب معادن زيوليت وداتولت وبكتوليت وكالسيت .

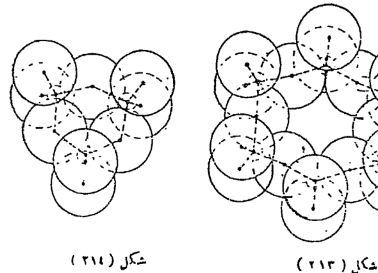
المعادن السيكلو سيليكاتية

تتكون المعادن السيكلوسيليكاتية (أو الحلقية) من حلقات متصلة من رباعى الأوجه SiO_4 ، وفيها تكون نسبة السليكون إلى الأكسجين كنسبة ١ : ٣ . وهناك ثلاثة أنواع من الحلقات المقفولة الممكنة هى :

١ - الحلقة الثلاثية Si_3O_9 ، مكونة من ثلاثة رباعى الأوجه ، وهذه أبسطها شكل (٢١٤) وهـــذه ممثلة فقط بالمعدن بنيتويت $BaTiSi_3O_9$ Benitoite

٢ - الحلقة الرباعية Si_4O_{12} مكونه من أربعه رباعى الأوجه توجد مع المثلثات BO_3 ومجموعات (OH) فى البناء المعقد لمعدن أكسينيت Axinite .

٣ - الحلقة السداسية Si_6O_{18} ، مكونة من ستة رباعى الأوجه ، شكل (٢١٣) ، وهذه تمثل الهيكل الأساسى فى بناء معادن البيريل والتورمالين الهامة الواسعة الانتشار .



شكل (٢١٣)

شكل (٢١٤)

ويضم هذا القسم المعادن التالية :

بنيتوبت	Benitoite	$BaTiSi_3O_9$	السداسى
أكسينيت	Axinite	$Ca_2(Fe,Mn)Al_2(BO_3)(Si_4O_{12})(OH)$	الميول الثلاثة
مجموعة البريل			
بيريل	Beryl	$Be_3Al(Si_6O_{61})$	السداسى
كورديريت	Cordierite	$Mg_2Al_3(AlSi_5O_{18})$	المعينى القائم
تورمالين	Tourmaline	$XY_3Al_6(BO_3)_3(Si_6O_{18})(OH)_4$	الثلاثى
كريزوكولا	Chrysocolla	$CuSiO_3-nH_3O$	خفى التبلور

: بنيتويت $BaTiSi_3O_9$

يتبلور المعدن فى فصيلة السداسى . نظام الهرم المنعكس الثلاثى المزدوج . الصلادة = ٦٫٥ • الوزن النوعى = ٣٫٦ . درجة الانصهار = ٣ • اللون أزرق مثل السافير Sapphire أو أزرق باهت أو عديم اللون . يوجد هذا المعدن النادر مصاحبا معدن نطروليت Natrolite فى صخور الشست الجلوكوفينى فى مقاطعة سان بنيتو بولاية كاليفورنيا .

أكسينيت

$Ca_2(Fe,Mn)Al_2(BO_3)(Si_4O_{12})(OH)$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميول الثلاثة . نظام السطح (المعدن الوحيد الذى

يتبلور فى هذا النظام) . البلورات عادة رفيعة . يوجد عادة فى هيئة بلورات ومجموعات متبلورة ، كذلك فى هيئة كتل أو صفائح أو حبيبات. الصلادة = ٦ ½ - ٧ . الوزن النوعى = ٣٫٢٧ - ٣٫٣٥ . البريق زجاجى . اللون بنى مائل للإحمرار أو بنفسجى أو رمادى أو أخضر أو أصفر . شفاف أو نصف شفاف.

يوجد المعدن فى صخر الجرانيوليت (صخر متحول) ، وفى نطاقات التماس مع الكتل الجرانيتية المتداخلة .

بيريل (الزمرد) $Be_3Al_2(Si_6O_{18})$

يتبلور المعدن فى فصيلة السداسى . نظام الهرم المنعكس السداسى المزدوج . توجد البلورات فى هيئة منشورية واضحة . الأوجه عادة مخططة وخشنة ، قد تبلغ بلورات البيريل أحجاماً ضخمة . وقد بلغ طول إحدى البلورات التى وجدت بولاية مين Maine بأمريكا ٢٧ قدما وكانت تزن أكثر من ٢٥ طنا .

الصلادة = ٧٫٥ — ٨ . الوزن النوعى = ٢٫٧٥ — ٢٫٨ . الانفصام قاعدى غير كامل . البريق زجاجى . اللون أخضر مائل للزرقة أو أصفر فاتح ، وقد يكون المعدن ذا لون أخضر زمردى أو أصفر ذهبى أو رمادى أو أبيض أو عديم اللون . شفاف أو نصف شفاف . يتميز المعدن عادة ببلوراته السداسية ولونه . كما يختلف عن معدن الأباتيت فى الصلادة .

يعتبر معدن البيريل - ولو أنه يحتوى على عنصر البيريليوم النادر - من المعادن الشائعة الواسعة الانتشار . يوجد المعدن فى صخور البجماتيت الجرانيتية وكذلك فى صخور الشست الميكائى .

توجد الأحجار الكريمة من المعدن فى كولومبيا وسيبريا والبرازيل ومدغشقر وبعض ولايات أمريكا . كما يوجد فى مصر فى بعض المناطق (سيكايت ونجرس وأم كابو) بجنوب الصحراء الشرقية .

يجد معدن البيريل استعمالات كثيرة له فى الصناعة . ويعتبر المعدن أهم مصدر لعنصر البيريليوم الذى يستخدم فى صناعة بعض السبائك النحاسية ، كما يعتبر البيريل فى الوقت الحاضر من المعادن الاستراتيجية الهامة وذلك لاستعماله فى أغراض الطاقة الذرية وتتهافت الدول فى الحصول على هذا المعدن الهام .

كورديريت (ديكرويت) $Mg_2Al_3(AlSi_5O_{18})$

يتبلور المعدن فى فصيلة المعينى القائم . نظام الهرم المنعكس . البلورات عادة منشورية قصيرة مجموعة فى هيئة توائم سداسية كاذبة . كذلك يوجد فى هيئة حبيبية أو كتلية . الصلادة = ٧ — ٧ ½ . الوزن النوعى = ٢٫٦٠-٢٫٦٦ . الانفصام مسطوحى ضعيف {٠١٠} . البريق زجاجى . اللون (ظلال مختلفة) شفاف أو نصف شفاف . يعرض ظاهرة التغير اللونى Pleochroism .

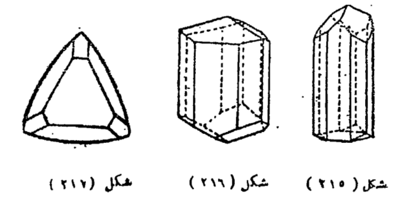
يشبه كورديريت معدن الكوارتز ويفرق عنه بصعوبة . خلافاً للكوارتز تبصر حروف الكورديريت الرفيعة . ويتميز عن الكوراندوم بصلادته الأقل وإذا شوهد التغير اللونى فإن ذلك يعتبر شيئاً مميزاً للمعدن .

يتحلل المعدن عادة إلى معادن الميكا والكلوريت أو التلك ويصبح لونه فى هذه الحالة ائلا إلى الأخضرار . يوجد كورديريت كمعدن إضافى فى صخور الجرانيت والنيس (النيس الكورديريتى) والشست وفى نطاقات التحول التماسى (الحرارى)

تورمالين

(سليكات معقدة للبورون والألومنيوم)

يتبلور المعدن فى فصيلة الثلاثى ، نظام الهرم الثلاثى المزدوج . البلورات عادة منشورية ، شكل (٢١٥) . (٢١٦) . الأسطح المنشورية مخططة فى حالات كثيرة ومقطعها يشبه مثلث دائرى ، شكل (٢١٧) . تنتهى البلورات عادة بالسطح Pedion والأهرامات الثلاثية (سالبة وموجبة) وقد توجد الأهرامات الثلاثية المزدوجة . البلورات شائعة ولكن يوجد المعدن أيضاً فى هيئة كتل متماسكة أو عمدان دقيقة أو خشنة قد تكون متوازية أو شعاعية .



شكل (٢١٥)　　شكل (٢١٦)　　شكل (٢١٧)

الصلادة = ٧ — ٧½ . الوزن النوعى = ٣ — ٣٫٢٥ . البريق زجاجى أو را تنجى ، اللون متغير ويتوقف على التركيب الكيميائى . فالتورمالين العادى الذى يحتوى على كمية كبيرة من الحديد (شورليت Schorlite) لونه أسود أو بنى . وهناك أنواع أخرى لونها أحمر أو وردى أو أخضر أو أزرق أو أصفر ، ولكن يندر وجود اللون الأبيض أو الشفاف ، وتوجد بعض بلورات التورمالين ذات الألوان المتعددة ، فتظهر البلورة الواحدة متعددة الألوان من الخارج إلى الداخل ، أى أن المقطع المستعرض لمثل هذه البلورة يبدى عدة ألوان موزعة فى حلقات أو نطاقات دائرية داخل بعضها ، وللتورمالين خاصية الكهرباء الحرارية وكذلك الكهرباء الضغطية .

التركيب الكيميائى : سليكات معقدة للبورون والألومنيوم ويمكن كتابة هذا التركيب فى صورة قانون عام هكذا : $YX_3Al_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH)_4$ ، حيث X = Na ، Ca و Y = Al ، Fe'' ، Li ، Mg .

يتميز المعدن بالأشكال الدائرية لمقاطعه المستعرضة . ويختلف عن معدن الهورنبلند بعدم وجود الانفصام المنشورى .

يوجد معدن تورمالين فى صخور البجماتيت الجرانيتية والصخور المجاورة لها . والأنواع الشائعة فى البجماتيت هى سوداء ولو أن الألوان الناصعة الشفافة المستعملة فى الأحجار الكريمة توجد أيضاً فى مثل هذه الصخور . يصاحب التورمالين معادن البجماتيت العادية مثل الأرثوكليز والالبيت والكوارتز والمسكوفيت . وكذلك معادن ليبيدوليت وبيريل وأباتيت وفلوريت ومعادن أخرى نادرة . وقد يوجد معدن التورمالين فى الصخور النارية والمتحولة مثل الشست والنيس والصخور الجيرية المتبلورة كمعدن إضافى .

توجد الأنواع المستعملة فى الأحجار الكريمة فى جزيرة علبا Elba ، وولاية ميناس جيرايس بالبرازيل ، وجبال الأورال بالاتحاد السوفيتى ، وجزيرة مدغشقر وفى بعض الولايات الأمريكية .

تستعمل الأنواع الشفافة ذات الألوان الجميلة من التورمالين فى صناعة الأحجار الكريمة . يختلف ألوان هذه الأحجار الكريمة من أخضر زيتونى إلى

أحمر وردى أو أحمر أو أزرق. وفى بعض الأحيان يقطع الحجر بطريقة تجعله يعرض ألوانا مختلفة فى الأجزاء المختلفة . ويعرف النوع الأخضر باسم المعدن، أى تورمالين ، أما الأحجار الحمراء فتعرف بإسم روبيلليت rubellite ، وتعرف الأحجار الزرقاء النادرة باسم إنديكوليت indicolite . وتستعمل كثير من بلورات المعدن فى صناعة أجهزة الضغط وأجهزة قياس درجات الحرارة العالية وذلك نظراً لخاصيتى المعدن المميزتين . ألا وهما : الكهرباء الضغطية والكهرباء الحرارية .

كريزوكولا $CuSiO_3nH_2O$

خفى التبلور أو عديم التبلور . متماسك فى هيئة كتل . فى بعض الأحيان يكون ترابى. الصلادة = ٢ — ٤ . الوزن النوعى = ٢٫٠ - ٢٫٤ . المكسر محارى . البريق زجاجى أو مطفى . اللون أخضر أو أزرق مائل للخضرة ، بنى أو أسود عندما يكون غير نقى . يتميز المعدن بلونه الأخضر أو الأزرق ومكسره المحارى . يتميز عن التركواز (الفيروز) بصلادته الأقل .

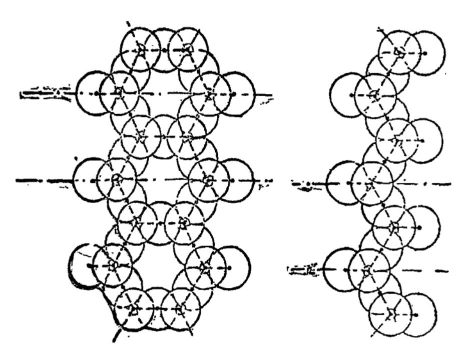
كريزوكولا معدن ثانوى النشأة يوجد فى نطاقات الأكسدة فى العروق النحاسية . يصاحب معادن ملاكيت وأزوريت وكوبريت والنحاس العنصرى ، الخ . يوجد فى الأجزاء السطحية لبعض المناطق فى الصحراء الشرقية وسيناء .

من الأنواع المشابهة معدن ديوبتيز $Cu_6(Si_6O_{18})_6H_2O$. Dioptase ذو اللون الأخضر الذى يوجد فى بلورات معينية الأوجه كاملة التكوين .

المعادن الاينوسيليكاتية

قد ترتبط مجموعات رباعى الأوجه SiO_4 بعضها ببعض عن طريق اشتراكها فى ذرتين من ذرات الأكسجين الأربعة فى كل منها . وينتج عن هذا الارتباط بناء فى شكل السلسلة (سلسلة مفردة) ، شكل (٢١٨) . وقد ترتبط مثل هذه السلاسل المفردة ببعضها البعض مرة أخرى لتكوين سلاسل مزدوجة ، شكل (٢١٩) ، وتميز هاتان البنيتان المعادن الاينوسليكاتية . ففى بناء السلسلة المفردة تشترك ذرتين من ذرات الأكسجين الأربعة فى كل رباعى أوجه SiO_4 بين

رباعي أوجه متجاورين ؛ وتكون نسبة السليكون إلى الأكسجين في مثل هذا البناء كنسبة ١ : ٣ . أما في بناء السلسلة المزدوجة فيشترك نصف عدد رباعي الأوجه في ذرتين من الأكسجين لكل منها ويشترك نصف العدد الآخر في ثلاث ذرات من الأكسجين لكل منها ، وتكون نسبة السليكون إلى الأكسجين في مثل هذا البناء كنسبة ٤ : ١١ .



شكل (٢١٨) . سلسلة مفرده شكل (٢١٩) . سلسلة مزدوجة

وتمثل معادن البيروكسين Pyroxenes ، التي لها القانون الكيميائي العام $XY(Si_2O_6)$ ، بناء السلسلة المفردة بوضوح ، شكل (٢١٨) ، ويمكن أن نتصور هذا البناء على أنه مكون من سلال مفردة من السليكون والأكسجين موازية لبعضها البعض وممتدة بدون نهاية في اتجاه المحور حـ ، وتتصل ببعضها البعض فقط عن طريق الكاتيونات الممثلة بالرمزين X ، Y (رابطة أيونية) . والكاتيونات X كبيرة الحجم ضعيفة الشحنة ، وتكون غالبا عبارة عن صوديوم أو كلسيوم وتتصل بثمانية ذرات أكسجين من جيرانها . أما الكاتيونات Y فهي أصغر حجما وترمز إلى الحديدوز أو الحديديك ، الألومنيوم ، المنجنيز الثنائي او الثلاثي التكافؤ ، وحتى الليثيوم أو التيتانيوم الرباعي التكافؤ .

وتتبلور معادن البيروكسين فى فصيلتى المعينى القائم والميل الواحد . فإذا كانت المواضع X ، Y مشغولة بأيونات صغيرة ، ينتج بناء معينى قائم . أما إذا كانت المواضع X ، Y مشغولة بأيونات كبيرة وصغيرة على التوالى فإنه ينتج بناء ميل واحد . وعندما تكون المواضع Y,X مشغولة بأيونات كبيرة فان بناء ذريا له تماثل الميول الثلاثة ينتج ، مثل معادن رودونيت $Mn(SiO_3)$ ، ولاستونيت $Ca(SiO_3)$. ويوجد فى جميع معادن البيروكسين انفصام منشورى {١١٠} يتقاطع فى زوايا قائمة تقريباً ، شكل (٢٢٠) ، ويوازى السلاسل SiO_3 ، كما يوجد بها عادة انفصال ظاهر موازى للمسطوح الأمامى {١٠٠} ، والمسطوح القاعدى {٠٠١}

وتحت ظروف خاصة من الضغط والحرارة يتخذ المركبان $(Mg,Fe)_2(Si_2O_6)$ ، $Mg_2(Si_2O_6)$ شكلا بلورياً آخر (غير المعينى القائم) ينتمى إلى فصيلة الميل الواحد . ومعادن البيروكسين من المعادن الشائعة فى تركيب الصخور النارية خصوصاً القاعدية منها وكذلك فى بعض أنواع الصخور المتحولة .

أما معادن الامفيبول Amphiboles وهى من المعادن الشائعة والهامة فى تركيب الصخور فإنها تكون مجموعة تشبه إلى حد كبير معادن البيروكسين ، ولكن هناك بعض الفوارق والتى تعزى إلى الإختلاف فى البناء الذرى بين المجموعتين . فتتميز معادن الامفيبول بوجود السلسلة المزدوجة Si_4O_{11} ، شكل (٢١٩) ، كبناء أساسى فى تركيبها . وتمتد هذه السلاسل المزدوجة بدون نهاية فى اتجاه موازى للمحور حـ ، وللانفصام المنشورى الكامل {١١٠} . ولكن مستويات الانفصام فى هذه الحالة تتقاطع فى زاويتين غير قائمتين تساويان ٥٦° ، ١٢٤° تقريباً ، شكل (٢٢٤) . وعلى ذلك يستفاد من الاختلاف فى زاوية الانفصام للتفرقة السريعة بين معادن الأمفيبول ومعادن البيروكسين . ويجب ألا يغيب عن الذهن أن الانفصام فى معادن الأمفيبول أوضح بكثير عنه فى معادن البيروكسين .

وتتصل السلاسل المزدوجة — كما فى حالة البيروكسين — ببعضها البعض عن طريق الكاتيونات الممثلة بالرمزين X ، Y (رابطة أيونية) . وتشغل

أيونات الهيدروكسيد (OH) الفراغات الخالية الناتجة من اتصال سلسلتين مفردتين جنبا إلى جنب مع بعضهما البعض . ويكتب القانون العام لمعادن الأمفيبول هكذا $X_{0-7}Y_{7-14}Z_{16}O_{44}(OH)_4$ ، حيث X تمثل أيونات الصوديوم والكالسيوم والبوتاسيوم (بكميات قليلة) . أما Y فتضم المغنسيوم والحديدوز والحديديك والألومنيوم والمنجنيز الثنائي التكافؤ . والتيتانيوم — كما هو الحال فى معادن البيروكسين ، ولكن لا يوجد الليثيوم فى تركيب معادن الامفيبول .

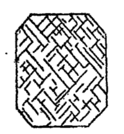
وبعض معادن الامفيبول ثنائية التشكل dimorphous كما هو الحال فى معادن البيروكسين ، أى تتبلور فى كل من فصيلتى المعينى القائم والميل الواحد .

تتبلور معادن البيروكسين فى درجات حرارة أعلى من تلك التى تتبلور عندها معادن الامفيبول . وعلى ذلك فإنها السابقة فى التبلور من المجما (أنظر صفحة ٢١١) . وغالباً تتغير معادن البيروكسين التى تبلورت مبكرا إلى معادن الامفيبول فى مراحل لاحقه من تاريخ الصخر النارى . ويساعد على هذا التغير وجود الماء فى السائل المتبقى من المجما عند درجات الحرارة المنخفضة .

X	Y	بيروكسين	امفيبول
Mg	Mg	إنستاتيت	أنتوفيلايت
		كلينوإنستاتيت	كوبفيريت
Mg,Fe	Mg,Fe	بروتزيت ، هيبرثين	أنثوفيلليت
		كلينوهيبرثين	كمينجتونيت
Ca	Mg	ديوبسيد	تريمولیت
Ca	Fe	هيدينبرجيت	أكتينوليت
[illegible]	Al	جيدبت	جلوكوفين
Na	Fe'''	إجيرين	ريبيكيت
Li	Al	سبوديومين	
Ca, Na	Mg,Fe Mn,Al Fe''',Ti	أوجيت	هورنبلند

جدول (٣٢) الأيونات الشائعة فى تركيب معادن البيروكسين والامفيبول

مجموعة معادن البيروكسين



شكل (٢٢٠)

تضم هذه المجموعة عديداً من الأنواع المعدنية التى تتبلور فى فصيلتى المعينى القائم والميل الواحد ، ومع ذلك فهى متقاربة فى بنائها الذرى . ويوجد فى جميع الأنواع انفصام منشورى ضعيف يتقاطع فى زوايا تقرب من القائمة (حوالى ٨٧° ، ٩٣°) ، شكل (٢٢٠) [قارن بين هذا الانفصام والانفصام فى معادن الامفيبول ، شكل (٢٢٤)].

وتكون معادن البيروكسين متسلسلة متشابهة فى تركيبها الكيميائى لمعادن الامفيبول (انظر جدول ٣٣) . وفيما يلى بيان بالأنواع الشائعة من معادن مجموعة البيروكسين

متسلسلة الانستاتيت

انستاتيت	Enstatite	$Mg_2(S_2iO_6)$	المعينى القائم
هيبرثين	Hypersthene	$(Fe,Mg)_2(Si_2O_6)$	» »

متسلسلة الديوبسيد

ديوبسيد	Diopside	$CaMg(Si_2O_6)$	الميل الواحد
هيدنبرجيت	Hedenbergite	$CaFe(Si_2O_6)$	» »

متسلسلة سبودبومين

سبودبومين	Spodumene	$LiNa(Si_2O_6)$	» »
جيديت	Jadeite	$NaAl(Si_2O_6)$	» »
ايجيريت	Aegirite	$NaFe(Si_2O_6)$	» »

متسلسلة أوجيت

أوجيت	Augite	$XY(Si_2O_6)$	» »

إنستاتيت $Mg_2(Si_2O_6)$ — هيبرثين $(Mg,Fe)_2(Si_2O_6)$

قلما يوجد معدن إنستاتيت نقيا فى الطبيعة ولكنه يحتوى على الحديد . ويحل الحديد محل المغنسيوم بنسب تصل إلى ١ : ١ وتتكون متسلسلة معادن متشابهة الأشكال بين الطرفين ، فاذا كانت كمية FeO تتراوح بين ٥ - ١٣ ٪ سمى المعدن باسم برونزيت أما إذا زادت نسبة FeO عن ١٢ ٪ سمى المعدن باسم هيبرثين . وقد تحتوى هذه

المعادن على نسبة بسيطة من الألومنيوم تصل ١٠ ٪ . أما اسم فيروسيليت فإنه يطلق على المركب النقي $Fe_2(Si_2O_6)$.

يتبلور معدنا انستاتيت وهيرثين في فصيلة المعيني القائم ، نظام الهرم المنعكس ، البلورات منشورية ولكنها نادرة ، يوجد المعدنان عادة في هيئة كتلية أو إبرية أو لوحية . الصلادة = ٥ر٥ . الوزن النوعي = ٢ر٣ — ٥ر٣ . الانفصام منشوري كامل {١١٠} . زوايا الانفصام ٨٧° ، ٩٣° . البريق زجاجي أو لؤلؤي على أسطح الانفصام ، أما معدن برونزيت فله بريق شبه فلزي مثل البرونز . اللون رمادي أو أصفر أو أبيض مائل للاخضرار أو أخضر زيتوني أو بني . نصف شفاف . لا ينصهر الانستاتيت ولكن تستدير الحواف الدقيقة فقط في لهب البوري وتزداد قابلية المعدن للانصهار بازدياد نسبة الحديد .

يصعب تمييز الأنواع السوداء من هذه المعادن عن معدن الأوجيت في العينات ونلجأ إلى الخواص البصرية للتفرقة بينها .

توجد هذه المعادن في صخور البيروكسينيت والبيريدوتيت والجابرو والنوريت والبازلت وكذلك في بعض أنواع النيازك .

تضم الأنواع المشابهة معادن كلينو إنستاتيت (ميل واحد) ثنائي الشكل للمركب $Mg_2(Si_2O_6)$ ، وكلينوهيبرثين (ميل واحد) ثنائي الشكل للمركب $(Mg,Fe)_2(Si_2O_6)$.

ديوبسيد $CaMg(Si_2O_6)$

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . البلورات منشورية ذات ثمانية جوانب في المقطع المستعرض . كذلك يوجد المعدن في هيئة كتل حبيبية أو عمدانية أو صفائحية . يكثر وجود البلورات التوأمية المركبة حيث يكون المستوى التوأمي هو المسطوح القاعدي {١٠٠} .

الصلادة = ٥ — ٦ . الوزن النوعي = ٢ر٣ — ٣ر٣ . الانفصام منشوري غير كامل . يكثر وجود الانفصال الموازي للمسطوح القاعدي {١٠٠} ، وفي بعض الأحيان يوجد انفصال موازي للمسطوح الامامي {٠٠١} ويتميز نوع المعدن المعروف

باسم ديالليج Diallage بوجود الانفصال الأخير {٠٠١} . لون المعدن أبيض أو أخضر فاتح ويقتم بازدياد نسبة الحديد . البريق زجاجى . شفاف أو نصف شفاف . درجة انصهار المعدن ٤ .

التركيب الكيميائى : سليكات الكالسيوم والمغنسيوم ، قد يحل الحديد محل المغنسيوم بشكل النسب ، وتوجد متسلسلة كاملة من التشابه الشكلى بين الديوبسيد ومعدن هيدنبرجيت Hedenbergite $CaFe(Si_2O_6)$.

يتميز المعدن بشكله البلورى ولونه الفاتح وانفصامه المنشورى غير الكامل حيث تتقاطع مستويات الانفصام فى زوايا مقدارها ٨٧° ، ٩٣° .

معدن الديوبسيد من المعادن المتحولة التى توجد بصفة مميزة فى الأحجار الجيرية المتبلورة حيث يصاحب المعدن معادن تريموليت وسكابوليت وجارنت وسفين وفيزوفيانيت .

سبودیومین $LiAl(Si_2O_6)$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . البلورات منشورية ، مبططة وموازية للوجه (١٠٠) ، الأوجه كثيرة التخطيط . البلورات كبيرة الحجم ذات أوجه خشنة .

الصلادة = ٥ر٦-٧ . الوزن النوعى = ١٤ر٣ - ٢٠ر٣ . الانفصام منشورى {١١٠} ويتقاطع فى زوايا مقدارها ٨٧° ، ٩٣° . يوجد أيضاً بالمعدن مستويات انفصال موازية للمسطوح الأمامى {١٠٠} . البريق زجاجى . اللون أبيض أو رمادى أو أحمر وردى أو أصفر . شفاف أو نصف شفاف . درجة الانصهار = ٥ر٣ .

يتميز المعدن بانفصامه المنشورى ومستويات انفصاله المسطوحية . سطوح البلورات خشنة (مثل ألياف الخشب) ومميزة عند لمس المعدن .

معدن سبوديومين من المعادن النادرة نسبيا ، ولكنه يوجد فى هيئة بلورات

كبيرة جدا فى بعض أنواع البجماتيت . يستعمل المعدن كمصدر لعنصر الليثيوم. وتستعمل بعض أنواعه الشفافة الخضراء ، هيدينيت (Hiddenite) أو الحمراء (Kunzite) فى صناعة الأحجار الكريمة .

جيديت $NaAl(Si_2O_6)$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . يندر وجود البلورات المفردة ، ويغلب وجود المعدن فى هيئة كتل إبرية متماسكة .

الصلادة = ٦٫٥ — ٧. الوزن النوعى = ٣٫٢ — ٣٫٥ . الانفصام منشورى {١١٠} يتقاطع فى زوايا مقدارها ٨٧° . ٩٣°. المعدن شديد الصلادة وصعب الكسر . اللون أخضر تفاحى أو أخضر زمردى أو أبيض ذو بقع خضراء . البريق زجاجى أو لؤلؤى على أسطح الانفصام . درجة الانصهار = ٢٫٥ . يتميز المعدن بلونه الأخضر ومجموعاته الابرية الشديدة التماسك .

يوجد معدن الجيديت بكميات كبيرة فى صخر السربنتين حيث يبدو أن المعدن قد تكون نتيجة لتحول صخر غنى بالألبيت والنيفيلين . يوجد بصفة خاصة فى شرق آسيا وشمال بورما والتبت وجنوب الصين .

استعمل المعدن فى الشرق ، وخصوصاً الصين ، فى عمل الأدوات المختلفة والتماثيل والتحف ذات الروعة والجمال . وقد استعمله الإنسان القديم فى صنع أسلحته المختلفة وأدوات معيشته .

إيجيريت $NaFe'''(Si_2O_6)$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . البلورات إبرية إما مفردة أو فى هيئة مجموعات . الصلادة = ٦ — ٦٫٥ . الوزن النوعى = ٣٫٤٠ - ٣٫٥٥ . الانفصام منشورى غير كامل {١١٠} يتقاطع فى زوايا مقدارها ٨٧° ، ٩٣° . البريق زجاجى . اللون بنى أو أخضر . نصف شفاف. درجة الانصهار = ٣ .

يتميز المعدن ببلوراته الإبرية ولونه الأخضر أو البنى وتواجده مع معادن معينة . ولو أن التحقيق الدقيق للمعدن يحتاج إلى الفحص الميكروسكوبى .

يعتبر معدن الإيجيريت من المعادن النادرة نسبيا المكونة للصخور النارية

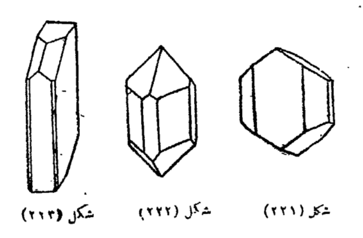
الفقيرة فى السليكا والغنية بالصودا مثل السيانيت النيفيلينى والفونوليت . يصاحب المعدن الأرثوكليز ومعادن الفلسباثويد والأوجيت والأمفيبول الغنية بالصودا.

أوجيت

$(Ca,Na)(Mg,Fe''Fe''',Al)(Si.Al)_2O_6$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . البلورات ذات هيئة منشورية قصيرة لوحية ، شكل (٢٢١) ، (٢٢٢) ، (٢٢٣) . تتقاطع المنشورات فى زوايا مقدارها ٨٧° ، ٩٣° يوجد المعدن كذلك فى هيئة كتل صفائحية أو حبيبية خشنة أو دقيقة .

الصلادة = ٥ — ٦ . الوزن النوعى = ٢ر٣ — ٤ر٣ . الانفصام منشورى جيد { ٠١١ } . يوجد عادة انفصال قاعدى فى البلورات . البريق زجاجى . اللون أخضر قاتم أو أسود . المعدن نصف شفاف .



شكل (٢٢٣) شكل (٢٢٢) شكل (٢٢١)

التركيب الكيميائى: سليكات الكالسيوم والألومنيوم والحديد والمغنسيوم. يمكن اعتبار الأوجيت كمعدن متوسط بين الديوبسيد والهيدنبرجيت وقد حل فيه عنصر الألومنيوم محل جزء من السليكون والمغنسيوم . درجة الانصهار = ٤ — ٥ر٤ .

يتميز المعدن بشكله البلورى ومقطعه المستعرض ذى الأربعة أو الثمانية جوانب

ويفرق المعدن عن الديوبسيد بلونه الأقتم ، وعن الهورنبلند بزوايا مستويات انفصامه (٨٧° ، ٩٣°) .

يعتبر الأوجيت أكثر المعادن البيروكسينية انتشارا ، ومن المعادن الهامة المكونة للصخور ، ويغلب وجود المعدن في الصخور النارية القاتمة اللون خصوصا الأنواع التي تكونت من مجما غنية بالحديد والكالسيوم والمغنسيوم ، مثل صخور البازلت والجابرو والبيريدوتيت وفي بعض أنواع السيانيت والنيس .

معادن اخرى لها بناء السلسلة المفردة

رودونيت $Mn(SiO_3)$

يتبلور المعدن في فصيلة الميول الثلاثة ، نظام المسطوح . البلورات لوحية موازية للسطوح القاعدي {١٠٠} . يوجد المعدن عادة في هيئة كتلية متماسكة أو منفصمة . الصلادة = ٥ر٥ - ٦ . الوزن النوعي = ٤ر٣ - ٧ر٣ . الانفصام منشوري {١١٠} ، {١̄١٠} ويتقاطعان في زوايا ٨٨° ، ٩٢° تقريباً . البريق زجاجي . اللون احمر وردي أو بني . وقد يكون المعدن مغطى بطبقة سوداء من أكسيد المنجنيز . شفاف أو نصف شفاف . درجة الانصهار = ٣ ويعطي كتلة زجاجية سوداء .

يتميز المعدن بلونه الأحمر الوردي وانفصامه المنشوري . يفرق عن معدن رودوكروزيت بصلادته الأعلى وعدم ذوبانه في الأحماض . معدن رودونيت معدن قليل الانتشار نسبيا .

تستعمل بعض عينات الرودونيت المصقولة في صناعة أحجار الزينة . ومعظم هذه العينات تأتي من جبال الأورال بالاتحاد السوفيتي .

ولاستونيت $Ca(SiO_3)$

يتبلور المعدن في فصيلة الميول الثلاثة ، نظام المسطوح . البلورات لوحية . يوجد عادة في هيئة كتلية مشققة أو أليافية أو متماسكة . الصلادة = ٥ - ٥ر٥

الوزن النوعى = ٢٫٨ - ٢٫٩ . الانفصام كامل ومواز لكل من المسطوح القاعدى { ١٠٠ } والمسطوح الامامى { ٠٠١ } . البريق زجاجى أو لؤلؤى على أسطح الانفصام . وقد يكون البريق حريريا إذا كان المعدن فى هيئة ألياف . اللون أبيض أو رمادى . نصف شفاف . ينصهر المعدن عند درجة ٤ إلى كرة صغيرة زجاجية بيضاء .

يوجد معدن ولاستونيت فى الصخور الجيرية المتبلورة المتحولة بالحرارة ، حيث يصاحب المعدن معادن الكالسيت وديوبسيد وجارنت وتريموليت والفلسبارات الجيرية وفيزوفيانيت وإبيدوت .

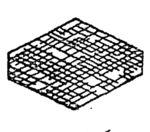
بكتوليت $Cs_2NaH(SiO_3)_3$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميول الثلاثة . نظام المسطوح . يوجد عادة فى هيئه مجموعات لبلورات إبرية قد تكون شعاعية الترتيب . أوقد يوجد فى كتل متماسكة . الصلادة = ٥ . الوزن النوعى = ٢٫٧ - ٢٫٨ . البريق زجاجى أو حريرى عديم اللون أو أبيض رمادى . الانفصام كامل وموازى للمسطوحين القاعدى { ١٠٠ } والامامى { ٠٠١ } . درجة الانصهار = ٢½ - ٣ ويعطى مادة زجاجية . معدن بكتوليت معدن ثانوى النشأة ، يتكون فى ظروف مشابهة لوجود معادن الزيوليت . يوجد مبطنا الفجوات فى صخور البازلت .

مجموعة معادن الأمفيبول

تضم هذه المجموعة عديدا من المعادن الشائعة التى تتبلور فى فصيلتى المعينى القائم والميل الواحد ، بينما تتبلور الأنواع النادرة فى فصيلة الميول الثلاثة ، ولكن بنياتها جميعاً متشابهة . وتكون هذه المعادن مجموعة مشابهة فى تركيبها الكيميائى لمعادن البيروكسين ، (أنظر صفحة ٣٩١) ، ولكن معادن الامفيبول تحتوى على أيون الهيدروكسيد (OH) . وتشبه معادن الامفيبول معادن البيروكسين إلى حد كبير ، إلا أنهما يختلفان فى زاوية الانفصام .

في معادن الأمفيبول تساوي زاويتا الانفصام المنشوري ٥٦° ، ١٢٤° تقريباً ، شكل (٢٢٤)، بينما تساوي هاتين الزاويتين في معادن البيروكسين ٨٧° ، ٩٣° تقريباً . شكل (٢٢٠). وفيما يلي بيان بالأنواع الشائعة من معادن مجموعة الأمفيبول :


شكل (٢٢٤)

$(Mg,Fe)_7(Si_8O_{22})(OH)_2$	Anthophylite	أنثوفيلليت
		متسلسلة التريموليت
$Ca_2Mg_5(Si_8O_{22})(OH)_2$	Tremolite	تريموليت
$Ca_2(Mg,Fe)_5(Si_8O_{22})(OH)_2$	Actinolite	أكتينوليت
		متسلسلة الريبيكيت
$Na_2Fe''_3Fe'''_2(Si_8O_{22})(OH)_2$	Riebeckite	ريبكيت
$Na_3Mg_4Al(Si_8O_{22})(OH)_2$	Arfvedsonite	أرفيدسونيت
$Na_2Mg_3Al_2(Si_8O_{22})(OH)_2$	Glaucophane	جلوكوفين
		متسلسلة الهورنبلند
$X_2{-}_3Y_5{-}_7Z_8O_{22}(OH)_2$	Hornblende	هورنبلند

أنثوفيلليت $(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$

يتبلور المعدن في فصيلة المعيني القائم ، (يقابل المعدن معدني إنستاتيت وهيبرثين في مجموعة البيروكسين) . يندر وجود المعدن في هيئة بلورات ، ولكن يوجد عادة في هيئة إبرية أو منشورية . الصلادة = ٥ر٥ - ٦ ، الوزن النوعي = ٨٥ر٢ - ٢ر٣ . الانفصام منشوري كامل {١١٠}، اللون رمادي أو أخضر أو بني . البريق زجاجي . نصف شفاف . لا يسهل تمييز المعدن عن معادن الامفيبول الأخرى إلا بواسطة استعمال الميكروسكوب وتعيين الخواص البصرية .

معدن أنثوفيلليت من المعادن النادرة نسبيا ، ويوجد المعدن في صخور الشست المتبلورة حيث يظن أن المعدن قد نشأ عن تحول معدن الأوليفين .

تريموليت

$Ca_2Mg_5(Si_8O_{22})(OH)_2$

يتبلور المعدن في فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . البلورات ذات هيئة منشورية . يوجد المعدن عادة فى مجموعات ذات بلورات عمدانية شعاعية ، وفى بعض الأحيان تكون البلورات أليافية . الصلادة = ٥ - ٦ . الوزن النوعى = ٠ر٣ - ٣ر٣ . الانفصام منشورى كامل {١١٠} بزوايا قدرها ٥٦°، ١٢٤°. البريق حريرى على الأسطح المنشورية . يختلف اللون بين الأبيض والأخضر الفاتح (نوع الاكتينوليت Actinolite) . يقتم اللون كلما زادت نسبة الحديد فى المعدن . شفاف أو نصف شفاف .

التركيب الكيميائى : سليكات الكالسيوم والمغنسيوم الايدروكسيدية . قد يحل الحديد محل المغنسيوم ، فإذا زادت نسبته عن ٢ ٪ فإن المعدن يتحول إلى أكتينوليت (يكون التريموليت والأكتينوليت معاً متسلسلة أشكال متشابهة محدودة) ، درجة الانصهار ٣ — ٤ .

يتميز المعدن ببلوراته المنشورية الرفيعة وانفصامه المنشورى الجيد ، ويختلف عن الهورنبلند بلونه الفاتح .

يوجد معدن تريموليت عادة فى الصخور الجيرية الدولوميتية المتبلورة غير النقية ، حيث نشأ المعدن نتيجة لإعادة تبلور الصخر بواسطة التحول . كذلك يوجد المعدن فى الشست الطلق . أما معدن أكتينوليت فإنه يوجد فى صخور الشست الخضراء حيث نشأ المعدن نتيجة لتحول معادن البيروكسين فى الصخور النارية الأصلية .

هورنبلند

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . البلورات منشورية . كذلك يوجد المعدن فى هيئة عمدانية أو أليافية ، دقيقة أو خشنة الحبيبات. الصلادة = ٥ — ٦ . الوزن النوعى = ٣,٢ . الانفصام منشورى كامل {١١٠}

والزوايا مقدارها ٥٦° ، ١٢٤°. البريق زجاجى ، أما الأنواع الأليافيةفبريقها حريرى . اللون أخضر متدرج إلى الأسود . نصف شفاف .

التركيب الكيميائى : سليكات معقدة للكالسيوم والمغنسيوم والحديد والألومنيوم مع شق الهيدروكسيد . والسبب فى تعقيد قانون المعدن الكيميائى هو التشابه الشكلى والإحلال بين الأيونات المتشابهة ، واختلاف نسبة Na:Ca ، Si:Al, Fe''':Al, Fe'':Mg . ويمكن كتابة القانون العام للهورنبلند كما يلى :

$Ca_2Na(Mg,Fe'')_4(Al,Fe''',Ti)(Al,Si)_8O_{22}(O,OH)_2$

ويختلف الهورنبلند عن الترموليت فى احتواء الأول على الألومنيوم .

درجة الانصهار = ٤ . ويعطى ماء فى الانبوبة المقفولة . كما يتميز المعدن عن باقى معادن الامفيبول بلونه الداكن .

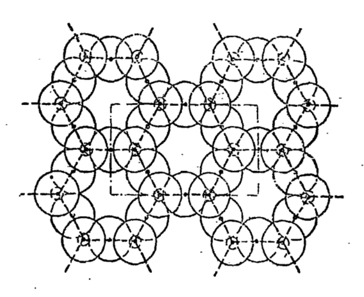
معدن هورنبلند من المعادن الهامة الشائعة المكونة للصخور ، حيث يوجد المعدن فى كلا من الصخور النارية والمتحولة، ولو أنه يكثر فى الصخور المتحولة . وينتج المعدن من تحلل البيروكسينات فى عمليات التبلور الأخيرة للمجما، أو أثناء تحول الصخور النارية . ويتكون صخر الأمفيبوليت Amphibolite من معدن الهورنبلند بصفة رئيسية .

المعادن الفيللوسليكاتية

(الصفائحيــــة)

يدل اسم هذه المجموعة الهامة، المشتق من الكلمة اليونانية phyllon بمعنى ورقة على أن المعادن التابعة لها ذات هيئة صفائحية (أو صفحية) ويوجد بها انفصام واحد واضح . وصلادة هذه المعادن منخفضة بصفة عامة ، وكذلك وزنها النوعى منخفض . أما عن صفائح الانفصام فهى قابلة للانثناء أو مرنة . وترجع هذه الخواص المميزة إلى تكون البناء الذرى من صفائح السليكون والأكسجين بصفة أساسية . ونجد فى هذا البناء الصفائحى، شكل (٢٢٥) ، أن ثلاثة ذرات أكسجين من الأربعة الموجودة عند أركان رباعى الأوجه SiO_4 أصبحت مشتركة بين رباعيات الأوجه ، ويؤدى هذا إلى أن نسبة Si:O كنسبة ٢ : ٥ .

وتحتوى جميع المعادن الفيللوسيليكاتية على أيون الهيدروكسية (OH)، وتعزى الخواص المختلفة - إلى حد كبير - لهذه المعادن إلى الموضع الذى يشغله هذا الأيون فى البناء الذرى بالنسبة لبقية الأيونات الموجودة فى التركيب الكيميائى للمعدن.



شكل (٢٢٥)

ويرجع اهتمامنا بالمعادن الفيللوسليكياتية إلى أنها نواتج لتجوية weathering الصخور، وبالتالى تكون الجزء الأكبر من التربة. ويتوقف غذاء النبات من التربة، واختزان الماء فى التربة من وقت الرطوبة إلى وقت الجفاف، وسماح التربة للغازات والكائنات الحية بالمرور فيها، على الخواص المختلفة للسليكات الصفائحية.

ومن الناحية الجيولوجية نجد أن للفيللوسليكات أهمية كبرى. فمعادن الميكا تعتبر أهم مكونات صخور الشست، كما أنها منتشرة فى الصخور النارية. وتتكون معادن الميكا فى درجات حرارة أقل من تلك التى تتكون عندها معادن الأمفيبول أو البيروكسين، وتتكون غالبا بإحلالها للمعادن السابقة كنتيجة للتغير المائى الحرارى.

ويمكن تصنيف المعادن الفيللوسيليكاتية تصنيفا مبسطا كما يلى:

$KCa_4(Si_4O_{10})F.8H_2O$	Apophyllite	أبوفيليت

معادن الصلصال (الطين)

$Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$	Kaolinite	كاولنيت
Mg,Al,(OH)(H_2O)Silicate	Montmorillonite	مونتموريللونيت
K,Mg,Fe,Al,(OH)Silicate	Illite	اليت

معادن الميكا

$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	Muscovite	مسكوفيت
$KMg_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	Phlogopite	فلوجوبيت
$K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	Biotite	بيوتيت
$K_2Li_3Al_3(AlSi_3O_{10})(OH,F)_4$	Lepidolite	ليبدوليت

معادن الميكا القابلة للتكسر (Brittle mica)

$CaAl_2(Al_2Si_2O_{10})(OH)_2$	Margarite	مارجريت
Fe,Al,Mn,(OH)Silicate	Ottrellite	أوتريليت
$FeAl(AlSiO_5)(OH)_2$	Chloritoid	كلوريتويد

معادن الكلوريت

Mg,Fe'',Fe''',Al,(OH)silicate	Chlorite	كلوريت
$Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$	Talc	تلك
$Mg_6(Si_4O_{10})(OH)_8$	Serpentine	سربنتين
$(Ni,Mg)SiO_3.nH_2O$	Garnierite	جارنيريت
$Al_2(Si_4O_{10})(OH)_2$	Pyrophyllite	بيروفيلليت
$Mg_4(Si_6O_{15})(OH)_2.6H_2O$	Sepiolite	سبيوليت
Mg,Fe,Al,(OH)(H_2O)(silicate)	Vermiculite	فرميكوليت

أبوفيليت [$KCa_4(Si_4O_{10})_2F.8H_2O$]

يتبلور المعدن فى فصيلة الرباعى ، نظام الهرم المنعكس الرباعى المزدوج . الصلادة = ٤ ½ — ٥ . الوزن النوعى = ٢,٣ — ٢,٤ . الانفصام {١٠٠} كامل . البريق لؤلؤى على السطوح القاعدى وزجاجى على الأوجه الأخرى . عادة عديم اللون أو أبيض أو رمادى ، ولكن قد يكون اللون أخضرا باهتا أو أصفرا باهتا أو ورديا . شفاف أو نصف شفاف . درجة الانصهار ٢ ، مع حدوث انتفاخ وتكون مادة مينائية فقاعية بيضاء .

يوجد أبوفيلليت كمعدن ثانوى النشأة مبطنا الفجوات فى صخور البازلت وما شابهها ويصاحب معادن الزيوليت المختلفة والكالسيت والداتوليت والبكتوليت.

معادن الصلصال (الطين) Clay Minerals

يطلق اسم الصلصال (الطين) على أحد أنواع الصخور الرسوبية الميكانيكية. وكأى صخر يتكون الصلصال من معادن مختلفة بنسب مختلفة . كذلك يدل لفظ الصلصال على أن حجم الحبيبات التى يتكون منها صغير ، فهى تستعمل للاشارة إلى تلك المواد الترابية التى يقل قطر حبيباتها عن $\frac{١}{٢٥٦}$ من المليمتر والتى تصبح سهلة التشكل plastic إذا بللت بقدر يسير من الماء . وباستعمالنا للأشعة السينية فى دراسة التركيب المعدنى للصخور الطينية ، أمكن التعرف على مجموعة من المواد المتبلورة تكون هذه الصخور بصفة رئيسية ، وتعرف باسم « معادن الصلصال » وهذه المعادن عبارة عن سليكات مائية للألومنيوم بصفة أساسية . وفى بعض الأحيان يحل المغنسيوم أو الحديد محل جزء من الألومنيوم ، كما أن العناصر القلوية أو الأرضية القلوية قد تكون موجودة بصفة أساسية فى التركيب الكيميائى لمعدن الصلصال . وقد يتكون الصلصال من معدن صلصال واحد ، ولكن عادة يوجد أكثر من معدن صلصال مختلطة مع غيرها من المعادن مثل الفلسبار والكوارتز والمعادن الكربوناتية والميكا .

كاولينيت $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور ، يوجد فى هيئة قشور رقيقة وصغيرة جداً معينية أو سداسية الشكل . يوجد عادة فى هيئة كتل طينية الشكل إما أن تكون متماسكة أو هشة . الصلادة = ٢ – ٢٫٥ . الوزن النوعى = ٢٫٦ – ٢٫٦٣ . الانفصام قاعدى كامل {٠٠١} . البريق أرضى معتم ، أما الصفائح المتبلورة فبريقها لؤلؤى اللون أبيض ولكنه يتلون كثيرا تبعا لنوع الشوائب الموجودة .

لا ينصهر ولا يذوب . يتميز المعدن بشكله الطينى ولكن يستحيل تفرقة المعدن عن المعادن الصلصالية الأخرى دون الإستعانة بالوسائل البصرية والأشعة السينية.

الكاولينيت أحد المعادن الواسعة الانتشار ، ويعتبر المعدن أهم مكونات

الصلصال والكاولين . والمعدن دائماً ثانوى النشأة حيث ينتج من تحلل السليكات الألومنيومية خصوصاً الفلسبارات حيث يتواجد معها . كذلك يوجد فى التربة Soil حيث يكون مختلطا مع الكوارتز . يستعمل المعدن فى صناعة الخزف والطوب . الاسم مشتق من كلمة صينية Kauling ومعناها « التل العالى » وهو اسم تل بالصين حيث يوجد المعدن

أنواع مشابهة : ديكيت Dickite ونكريت Nacrite نوعان يشبهان كاولينيت بالنسبة للتركيب الكيميائى والبناء الذرى ، ولكنهما أقل منه انتشاراً فى تكوين الرواسب الطينية .

مجموعة مونتمور يللونيت

تشمل هذه المجموعة عددا من معادن الصلصال التى تتميز بقدرتها على امتصاص جزيئات الماء بين الصفائح فى بنائها الذرى ، وينتج عن ذلك تمدد ملحوظ فى البناء . تضم المجموعة المعادن التالية : مونتمور يللونيت وبيدلليت ونترونيت وهيكتوريت وصابونيت .

يكون مونتموريللونيت المعدن الرئيسى فى تركيب صخر البنتونيت Bentonite وهو عبارة عن رماد بركانى متحلل . وتتميز هذه الرواسب بخاصية امتصاصها للماء بدرجة غير عادية وتمدد حجمها إلى أضعاف أضعاف حجمها الأصلى ، وذلك عند وضعها فى الماء .

مجموعة اليت

تضم هذه المجموعة عدة معادن صلصالية شبيهة بالميكا . ولكن معادن الإليت تختلف عن معادن الميكا فى قلة إحلال الالومنيوم محل السليكون ، واحتوائها على ماء أكثر ، وبوجود الكالسيوم والمغنسيوم حالين محل جزء من البوتاسيوم . يكون إليت المعدن الرئيسى فى تركيب الصخور الطفلية Shales .

معادن الميكا

تضم هذه المجموعة معادن الميكا التى تتركب كيميائيا من سليكيات الالومنيوم المعقدة مع البوتاسيوم والهيدروكسيد وكذلك المغنسيوم والحديدوز ، وفى بعض

الأنواع يوجد الصوديوم والليثيوم والحديديك . وفى حالات قليلة يوجد المنجنيز والكروميوم والباريوم والفلورين والتيتانيوم بكميات ضئيلة .

تتبلور معادن الميكا فى فصيلة الميل الواحد ، ولو أن البلورات لا تبين مثل هذا التماثل البلورى ، وذلك نظراً إلى أن المحور ا يميل بزاوية تقترب من ٩٠° على المحور ﺟ . البلورات عادة مسطحة ذات مسطوح قاعدى واضح ولها مظهر سداسى ذو زوايا مقدارها ٦٠° ، ١٢٠° تقريباً وعلى ذلك تظهر البلورات دائماً إما فى أشكال معينية قائمة أو سداسية التماثل (تماثل كاذب) . وتتميز معادن الميكا جميعها بانفصال قاعدى كامل {٠٠١}. وتكون الميكا متسلسلة غير كاملة من الأشكال المتشابهة تتفاوت فى مداها باختلاف الاطراف .

مسكوفيت $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

يعرف أيضاً باسم الميكا البيضاء أو الميكا البوتاسية . يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . الزاوية المحورية بين ا ، ﺟ (زاوية بيتا) تساوى ٩٠° تقريباً ، يوجد فى هيئة صفائح كبيرة أو صغيرة أو فى هيئة قشور قد تكون متجمعة فى هيئة ريشية أو كروية .

يتميز المعدن بانفصامه القاعدى الكامل {٠٠١} الذى يؤدى إلى فصل المعدن إلى صفائح رقيقة مرنة . الصلادة = ٢ — ٢٫٥ . الوزن النوعى = ٢٫٧٦ — ٣٫٠١ . البريق زجاجى أو حريرى أو لؤلؤى . شفاف عديم اللون فى الصفائح الرقيقة . أما الصفائح السميكة فهى نصف شفافة وتبدو ذات ظلال باهتة من الألوان الصفراء أو الأخضر أو الأحمر . درجة انصهار المعدن = ٥ .

مسكوفيت معدن واسع الانتشار شائع ضمن المعادن المكونة للصخور . يوجد بصفة مميزة فى الصخور النارية الحامضية الجوفية مثل الجرانيت والسيانيت ، كذلك يوجد فى صخور البجماتيت وصخور الشيست والنيس المتحولة حيث يكون المعدن الأساسى فى صخر الشست الميكائى . وقد يوجد المسكوفيت نتيجة لتحلل معادن مختلفة مثل التوباز والكيانيت وسبوديومين وأندلوسيت . وهناك نوع عبارة عن قشور رقيقة يوجد فى هيئة مجموعات ليفية لها بريق حريرى . ويعرف هذا

النوع باسم سيريسيت Sericite ، ويوجد فى صخور الشست وكذلك نتيجة لتحلل المعادن على جانبى بعض العروق المائية الحارة الحاملة للخامات المعدنية .

يوجد المعدن فى صخور البجماتيت الجرانيتية مصاحبا معادن الكوارتز والفلسبار والتورمالين والبيريل والجارنت والأباتيت والفلوريت . ويوجد المعدن عادة فى هذه العروق فى هيئة بلورات كبيرة تعرف باسم الكتب Books التى قد تبلغ فى بعض الأماكن نحوا من بضع عشرات السنتيمترات فى العرض .

يستخدم المعدن بصفة أساسية فى صناعة المواد العازلة التى تدخل فى صناعة الأجهزة الكهربائية . وتعتبر الهند من أهم الدول المصدرة للميكا . وهناك صناعات أخرى مختلفة يدخل فيها المسكوفيت .

فلوجوبيت $KMg_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

يعرف أيضاً باسم الميكا المغنيزية Magnesia mica . يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . يوجد فى هيئة بلورات لوحية سداسية الشكل أو بلورات منشورية مدببة . البلورات غالباً كبيرة وخشنة . وقد يوجد أيضاً فى هيئة كتل صفائحية .

الانفصام قاعدى كامل {١٠٠} . الصفائح مرنة . الصلادة = ٢,٥ — ٣ . الوزن النوعى = ٢,٨٦ . البريق زجاجى أو لؤلوى . اللون أصفر بنى أو أخضر أو أبيض ، غالباً ذو وميض نحاسى اللون على أسطح الانفصام . شفاف فى الصفائح الرقيقة . درجة الانصهار ٤,٥ — ٥ .

يتكون معدن فلوجوبيت فى الصخور الجيرية المغنيزية نتيجة لتحولها بالحرارة ، وكذلك يتكون فى صخور الدولوميت المغنيزية وصخور السربنتين . يندر وجود المعدن فى الصخور النارية .

بيوتيت $K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . البلورات مسطحة أو منشورية قصيرة ذات سطوح قاعدى واضح . البلورات نادرة ولكن يغلب وجود المعدن فى هيئة كتل صفحية غير منتظمة . كذلك يوجد المعدن فى هيئة قشور منتشرة فى الصخر أو متجمعة فى هيئة مجموعات قشرية .

الانفصام قاعدى كامل {١٠٠} . الصفائح مرنة . الصلادة = ٢,٥ — ٣ .
الوزن النوعى = ٢,٨ — ٣,٢ . البريق لامع . اللون أخضر داكن أو أسود وقد يكون أصفراً باهتا فى بعض الحالات النادرة . أما الصفائح الرقيقة فلونها مدخن وبذلك يسهل تفريقها عن المسكوفيت العديم اللون تقريباً . درجة الانصهار = ٥ .

التركيب الكيميائى . أساسيا سليكات البوتاسيوم والمغنسيوم والحديد والألومنيوم ، ويوجد بعض الفلورين عادة حالا محل الهيدروكسيد . كذلك قد يحتوى على بعض المنجنيز والتيتانيوم والصوديوم .

معدن البيوتيت من المعادن الشائعة الواسعة الإنتشار كمكون للصخور . يوجد المعدن فى الصخور النارية خصوصاً الأنواع الغنية بالفلسبارات مثل الجرانيت والسيانيت ، وكذلك فى صخور أخرى أكثر من تلك التى يوجد فيها المسكوفيت وفى بعض الأحيان يوجد البيوتيت فى عروق البجماتيت فى صفائح كبيرة وكذلك يوجد فى بعض الطفوح البركانية والصخور البورفيرية ، وكذلك فى صخور الشست والنيس حيث يصاحب المسكوفيت .

أنواع متشابهة : جلوكونيت Glauconite (سليكات مائية للبوتاسيوم والحديد والمغنسيوم والألومنيوم) ، يشبه البيوتيت فى تركيبه الكيميائى . يوجد فى هيئة حبيبات خضراء أو مائلة للاصفرار أو إلى السواد كمكون فى الصخور الرملية الخضراء ، كما يوجد فى بعض الصخور الطينية والمارل وماشابها

فيرميكيوليت Vermiculite (مختلف فى تركيبه الكيميائى — أساسياً سليكات مائية للمغنسيوم والحديد والألومنيوم) . يتمدد المعدن عند تسخينه ويأخذ أشكال الدود (الإسم Verm مشتق من هذه الخاصية) . يستخرج المعدن من منطقة حفافيت بالصحراء الشرقية ، ويستخدم بكميات كبيرة فى الصناعات العازلة للحرارة والصوت .

ليبيدوليت $K_2Li_3Al_3(AlSi_3O_{10})_2(O,OH,F)_4$

يعرف المعدن أيضاً بإسم الميكا الليثيائية Lithia mica . يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . البلورات عادة فى هيئة صفائح صغيرة أو

منشورات سداسية المظهر . يغلب وجود المعدن فى هيئة مجموعات قشرية دقيقة أو خشنة التبلور . الانفصام قاعدى كامل {١٠٠} . الصلادة = ٢٫٥ – ٤ . الوزن النوعى = ٢٫٨ – ٢٫٩ . البريق لؤلؤى اللون أحمر وردى فاتح أو زنبقى lilac إلى أبيض . نصف شفاف . ينصهر بسهولة . درجة الانصهار = ٢ .

معدن الليبيدوليت من المعادن النادرة نسبيا . يوجد المعدن فى عروق البجماتيت حيث يصاحب معادن أخرى محتوية على الليثيوم مثل التورمالين الوردى أو الأخضر والامبليجونيت وسبوديومين . قد توجد بلورات الليبيدوليت متداخلة مع المسكوفيت حيث تتوازى البلورات مع بعضها البعض . من المناطق الشهيرة بوجود المعدن جبال الأورال وجزيرة علبا ومدغشقر .

يستعمل المعدن كمصدر لعنصر الليثيوم ، وكذلك فى صناعة الزجاج المقاوم للحرارة .

معادن الميكا الهشة

مارجريت $CaAl_2(Al_2Si_2O_{10})(OH)_2$

الميل الواحد ، نظام المنشور ، البلورات نادرة . يوجد فى هيئة مجموعات قشرية الصلادة = ٣٫٥ – ٥ (أصلد من الميكا الحقيقية) . الوزن النوعى = ٣٫٠ – ٣٫١ الانفصام قاعدى {١٠٠} كامل . البريق زجاجى أو لؤلؤى . اللون وردى باهت أو أبيض أو رمادى . نصف شفاف . الصفائح قابلة للكسر (brittle) درجة الانصهار ٤ – ٤٫٥ . يوجد مارجريت عادة مصاحبا معدن كوراندوم ، وفى العادة يتكون كناتج من نواتج تحلله .

أوتريليت (Fe, Al, Mn)(OH) silicate

(الميول الثلاثة؟) . الصلادة = ٣ – ٧ . الوزن النوعى = ٣٫٣ . درجة الانصهار ٦ حيث يعطى كرة مغناطيسية . يوجد فى الصخور المتحولة مثل الشست .

كلوريتويد $Fe,Al(AlSiO_5)(OH)_2$

الميل الواحد ، نظام المنشور . الصلادة = ٦ ½ . الوزن النوعى ٣,٥٢ — ٣,٥٧ . درجة الانصهار = ٦ ويعطى مادة مغناطيسية . يتحلل بحامض الكبريتيك يوجد فى الصخور المتحولة مثل الشست . كذلك يوجد كناتج تحلل لبعض الطفوح البركانية بواسطة المحاليل المائية الحارة .

معادن الكلوريت

تضم هذه المجموعة عدة معادن ذات خواص بلورية وفيزيائية وكيميائية متشابهة . ومن الصعب جداً التمييز بين هذه المعادن دون الإلتجاء إلى التحاليل الكيميائية الدقيقة والدراسات البصرية . والوصف التالى لما نسميه معدن « كلوريت » ماهو فى الواقع إلا وصفا شاملا للأنواع الأساسية التابعة لهذه المجموعة وهى : كلينو كلور ، بينيت ، بروكلوريت .

كلوريت

$(Mg,Fe'',Fe''',Al)_8(AlSi)_4O_{10}(OH)_2.Mg(OH)_6$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . البلورات مسطحة ذات مظهر سداسى كاذب ، يشبه المعدن فى هيئته بلورات مجموعة معادن الميكا ولكن يندر وجود البلورات الواضحة . يوجد المعدن عادة فى هيئة كتل صفائحية أو مجموعات مكونة من قشور دقيقة . يوجد كذلك فى هيئة حبيبات صغيرة منتشرة فى الصخر .

ينفصم المعدن بسهولة ، الإنفصام قاعدى {٠٠١} ، الصفائح تنثنى ، لكن ليست مرنة . الصلادة = ٢ — ٢,٥ . الوزن النوعى = ٢,٦ — ٢,٩ . البريق زجاجى أو لؤلؤى . اللون أخضر بدرجات مختلفة ويندر وجود الأنواع الصفراء أو البيضاء أو الوردية . شفاف أو نصف شفاف . المعدن صعب الإنصهار . درجة الانصهار = ٥ — ٥,٥ .

يتميز المعدن بلونه الأخضر وهيئتـــه الصفائحية وإنفصامه فى صفائح غير مرنة .

معدن كلوريت من المعادن الشائعة الواسعة الانتشار ذات النشأة الثانوية . يتكون المعدن نتيجة لتحلل السليكات المحتوية على الألومنيوم والحديدوز والمغنسيوم مثل البيروكسينات والامفيبولات والبيوتيت والجارنت . يوجد المعدن حيثما وجدت الصخور المحتوية على مثل هذه المعادن وقد أضبحت صخوراً متحولة . توجد بعض صخور الشست مكونة كلها تقريباً من معدن الكلوريت ويعزى اللون الأخضر لكثير من الصخور النارية إلى وجود الكلوريت الذى نتج من تحلل المعادن السليكاتية الحديدومغنيزية . وكذلك يعزى اللون الاخضر لكثير من صخور الشست والاردواز إلى وجود معدن الكلوريت منتشراً فى الصخر فى هيئة حبيبات دقيقة . وقد يترسب بعض الكلوريت من المحاليل المائية الحارة .

تلك (طلق) $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$

يعرف أيضاً بأسم حجر الصابون soapstone أو الاستياتيت steatite يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد . نظام المنشور . البلورات نادرة . يوجد المعدن عادة فى هيئة كتل صفائحية ، وفى بعض الاحيان فى هيئة مجموعات صفائحية شعاعية . يوجد أيضاً فى هيئة كتل متماسكة .

الانفصام قاعدى كامل { ١٠٠ } . تنثنى الصفائح قليلا ولكنها ليست مرنة . المعدن قابل للتقشير sectile . الصلادة = ١ (يترك علامة على قطعة من القماش) . الوزن النوعى = ٢٫٧ — ٢٫٨ . البريق لؤلؤى أو شحمى . اللون أخضر تفاحى أو رمادى أو أبيض فضى . نصف شفاف . الملمس شحمى .

المعدن صعب الانصهار . درجة الانصهار = ٥ . لايتأثر بالاحماض . يتميز المعدن بهيئته الصفائحية وانفصامه السهل وسهولة خدشه وملمسه الشحمى .

معدن التلك من المعادن الثانوية النشأة ، إذ يتكون المعدن نتيجة لتحلل المعادن السليكاتية المغنيزية ، مثل الاوليفين والبيروكسينات والامفيبولات ،

وقد يوجد فى هيئة أشكال كاذبة لهذه المعادن . ولكن التلك يوجد بصفة ءيزة فى الصخور المتحولة حيث يوجد فى هيئة حبيبية أو خفية التبلور فى الصخر المعروف بإسم حجر الصابون soapstone حيث يكون المعدن معظم الصخر تقريباً . وقد يوجد التلك كمكون أساسى فى الصخور الشستية مثل الشست التلكى

يوجد التلك فى مصر فى أماكن مختلفه بالجزء الجنوبى من الصحراء الشرقية (العطشان ودرهيب) حيث يستغل المعدن إقتصادياً . يستعمل التلك بكميات كبيرة فى هيئة مسحوق فى صناعة البويات والخزف والورق والكاوتشوك كما يستعمل كمسحوق التلك (بودرة التلك) .

سربنتين $[Mg_6(Si_4O_{10})(OH)_8]$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . البلورات غير معروفة وإنما يوجد فى أشكال كاذبة . يوجد السربنتين فى هيئتين بلوريتين : إحداهما صفائحية وتعرف بإسم أنتيجوريت Antigorite ، والاخرى أليافية وتعرف بإسم كريزوتيل Chrysotile .

السربنتين ذو مكسر محارى أو أليافى . وتتراوح صلادته بين ٢ ، ٥ ، ووزنه النوعى ٢٫١ للنوع الاليافى و ٢٫٦٥ للكتلى ، ولونه أخضر ذو درجات مختلفة وقد يكون رماديا أو أحمر أو بنيا أو أسودا . البريق واتنجى أو شحمى أو شمعي . قد يحتوى السربنتين على الحديد أو النيكل أو المنجنيز أو الالومنيوم أو الكروميوم .

ينتج السربنتين من تحلل المعادن المغنيزية مثل الاوليفين والانستاتيت والهورنبلند والتريموليت والاوجيت . ويعتبر الاوليفين أهم مصدر للسربنتين إذ قليلا مايوجد الاوليفين دون أن يكون قد تحلل إلى سربنتين . ويصاحب السربنتين معادن الماجنيزيت والكالسيت والماجنتيت والكروميت والجارنيريت والجارنت (بيروب) والبلاتين والتلك .

والسربنتين معدن منتشر فى الصخور المختلفة التابعة لحقب البريكامبرى فى الصحراء الشرقية المصرية . تستخدم الانواع الاليافية من السربنتين (كريزوتيل) كمصدر

للاسبستوس Asbestos الذى يستعمل فى صناعة العوازل الخاصة ضد الحريق والحرارة والكهرباء . أما الانواع الكتلية من السربنتين ذات اللون الاخضر القاتم أو الداكن فإنها تستعمل فى أحجار الزينة . أما إذا كان السربنتين مختلطا مع الرخام الابيض فإن يكسبه ألوانا معرقة جميلة ، ويطلق على الرخام فى هذه الحالة إسم الرخام الاخضر Verd antique marble .

جارنيريت ($(NiMg)SiO_3.nH_2O$)

المعدن عديم التبلور Amorphous . يوجد المعدن فى هيئة قشور أو كتل ترابية . الصلادة = ٢ — ٣ . الوزن النوعى = ٢،٢ — ٢،٨ . البريق أرضى أو معتم . اللون أخضر تفاحى أو أبيض . المخدش أبيض مائل للخضرة . الملمس شحمى .

الجارنيريت من المعادن الثانوية النشأة حيث يصاحب المعدن السربنتين ، ويحتمل أن يكون قد نتج عن تحلل صخر البيريدوتيت المحتوى على النيكل ويوجد المعدن فى جزيرة الزبرجد (سانت جون) بالبحر الاحمر قرب الحدود المصرية مع السودان . ويستخدم الجارنيريت كخام لفلز النيكل .

بيروفيلليت $Al_2(Si_4O_{10})(OH)_2$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المنشور . يوجد عادة فى هيئة كتل صفائحية أو حبيبية . يشبه التلك فى مظهره . الصلادة = ١ — ٢ (يترك أثراً على القماش) . الانفصام قاعدى كامل { ١٠٠ } . الصفائح تنثنى بعض الشىء ولكنها ليست مرنه . الوزن النوعى ٢،٨ - ٢،٩ . البريق لؤلؤى أو شحمى . اللون أبيض أو أخضر تفاحى أو رمادى أو بنى . نصف شفاف .

بيروفيلليت معدن نادر الوجود نسبياً . يوجد فى الصخور المتحولة مصاحباً عادة معدن كيانيت . يستخدم المعدن فى بعض الاحيان فى نفس الاغراض التى يستخدم فيها التلك .

سيبيوليت (ميرشوم) $Mg(Si_6O_{15})(OH)_2.6H_2O$

الفصيلة البلورية غير معروفة بالضبط ، يحتمل أن تكون الميل الواحد . يبدو المعدن تحت الميكروسكوب كمخلوط من مادة أليافية وأخرى عديمة التبلور لها نفس التركيب الكيميائى . الصلادة = ٢-٢½ . الوزن النوعى = ٢,٠ المكسر محارى . يطفو المعدن على سطح الماء عندما يكون جافا وذلك بسبب مساميته العالية . اللون أبيض رمادى أو أبيض مائل للاصفرار أو الاحمرار الملمس ناعم ، نصف شفاف . درجة الانصهار = ٥ - ½ ٥ ، ويعطى ماء كثيراً فى الانبوبة المقفولة .

يوجد سيبيوليت كمعدن ثانوى النشأة فى هيئة كتل عقدية الشكل مصاحباً للسربنتين ، وكذلك للأوبال والماجنيزيت . يستخدم المعدن فى صناعة أنابيب الميرشوم

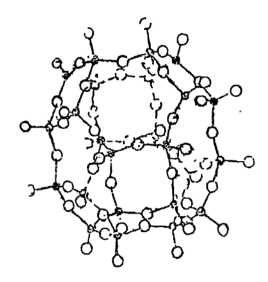
المعادن التكتوسليكاتية

(الهيكلية فى الابعاد الثلاثة)

يتكون ثلاثة أرباع القشرة الارضية تقريباً من معادن سليكاتية فيها رباعى الأوجه SiO_4 متصلة مع بعضها البعض فى الأبعاد الثلاثة لتكون بناء هيكلياً . وتتبع هذه المعادن قسم التكتوسليكات حيث تسهم جميع ذرات الاكسجين فى أركان رباعى الأوجه فى الارتباط بين رباعى الاوجه المجاورة وينتج عن هذا بناء مستقر قوى الارتباط تكون فيه نسبة السليكون إلى الاكسجين كنسبة ١ : ٢ . $(SiO_2)n$ شكل (٢٢٦) .

والهيكل السليكاتى فى أبسط صورة يكون متعادلا كهربائيا ولا يحتوى على ايونات فلزية . كما هو الحال فى مجموعة السليكا SiO_2 . أما فى بقية المعادن السليكاتية ذات البناء الهيكلى فنجد أنها تحتوى على الألومنيوم -بصفة أساسية- وقد حل محل جزء من السليكون . وإحلال أيون ألومنيوم (ثلاثى التكافؤ) محل أيون سليكون (رباعى التكافؤ) ينقص من شحنة الهيكل البنائى المتعادل شحنة موجبة ، الامر الذى يحتم أن يدخل أيون أحادى الشحنة الموجبة (مثل البوتاسيوم) مع الألومنيوم لينتج بناء متعادلا . وهذا مايحدث فى بناء الأرثوكليز

إذا كانت n فى البناء السليكاتى المتعادل $(SiO_2)n$ تساوى ٤ ، فإنه ينتج Si_4O_8 فإذا حل أيون Al محل أيون Si فإنه ينتج - ($AlSi_3O_8$) وهذا لابد أن يتحد مع أيون موجب مثل البوتاسيوم فيكون [$K(AlSi_3O_8)$] (الأرثوكليز) أو مع الصوديوم [$Na(AlSi_3O_8)$] (الألبيت) .



شكل (٢٠٥)

أما إذا حل أيونان من الألومنيوم محل أيونين من السليكون فإنه ينتج عن ذلك شحنتان سالبتان فى البناء بدلا من شحنة واحدة . وتتعادل هاتان الشحنتان مع أيون ذى شحنتين موجبتين (ثنائى التكافؤ) ، مثل الكالسيوم ، وينتج بناء سليكاتى متعادل ، مثل الأنورثيت [$Ca(AlSi_3O_8)$] . وفيما يلى بيان بالمعادن الشائعة التى تنتمى إلى قسم التكتوسليكات :

مجموعة السليكا

SiO_2	Quartz	كوراتز
SiO_2	Tridymite	تريديميت
SiO_2	Cristobalite	كريستوباليت

مجموعة الفلسبار

سلسلة الفلسبارات البوتاسية

$K(AliS_8O_8)$	Microcline	ميكروكلين
$K(AlSi_3O_8)$	Orthoclase	أرثوكليز

سلسلة الفلسبارات الصودية الكلسية

$Na(AliS_8O_8)$	Albite	ألبيت
$Ca(Al_2Si_2O_8)$	Anorthite	أنورثيت

مجموعة الفلسباثويد

$K(Ali_2SO_6)$	Leucite	لوسيت
$(Na,K)(AliSO_4)$	Nepheline	نيفلين
$Na_4(AlSiO_4)_3Cl$	Sodalite	صوداليت
$(Na,Ca)_4(AlSiO_4)_8(SO_4,S,Cl)$	Lazurite	لازوريت
$Li(AlSi_4O_{10})$	Petalite	بتاليت

مجموعة سكابوليت

$Na_4(AlSi_3O_8)_3(Cl)$	Marialite	مرياليت
$Ca_4(Al_2Si_2O_8)_3(CO_3)$	Meonite	ميونيت

مجموعة الزيوليت

$Na(AlSi_2O_6).H_2O$	Analcite	أنالسيت
$Na_2(Al_2Si_3O_{10})_2.H_2O$	Natrolite	نطروليت
$(Ca,Na)_2(Al_2Si_4O_{12}).6H_2O$	Chabazite	كابازيت
$Ca(Al_2Si_7O_{18}).6H_2O$	Heulandite	هيولنديت
$Ca(Al_2Si_7O_{18}).7H_2O$	Stilbite	ستلبيت

مجموعة السليكا

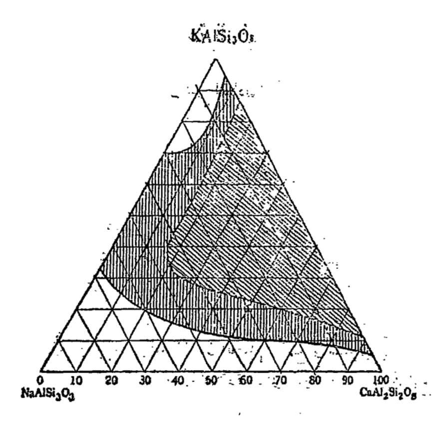
وصفت لسهولة الدراسة ضمن قسم المعادن الأكسيدية . من صفحة (٢٨٢) إلى (٢٨٩) .

مجموعة معادن الفلسبار

تعتبر هذه المجموعة من المجموعات الهامة للمعادن . وتشمل معادن عبارة عن سليكات الألومنيوم والبوتاسيوم أو الصوديوم والكالسيوم وفى أحوال نادرة الباريوم . وتتبع هذه المعادن فصيلة الميل الواحد أو الميول الثلاثة . ولكن بالرغم من هذا الاختلاف فى الفصائل البلورية نجد أن البلورات تتشابه إلى حد كبير فى هيئتها وزواياها . ولهذه المعادن إنفصام واضح فى مستويين يتقاطعان فى زوايا تساوى أو تقرب من ٩٠°. الصلادة حوالى ٦ ، والوزن النوعى يتراوح بين ٢٫٥٥ و ٢٫٧٦ .

التركيب الكيمائى . يمكن اعتبار معادن الفلسبار الشائعة محاليل جامدة لمكونات ثلاثة هى : أرثوكليز $KAlSi_3O_8$ ، ألبيت $NaAlSi_3O_8$ ، أنورثيت $CaAl_2Si_2O_8$.

أما النوع المحتوى على الباريوم . سلسيان $BaAl_2Si_2O_8$ فهو قليل الأهمية . ويكون الألبيت والأنورثيت متسلسلة كاملة من المحاليل الجامدة عند جميع درجات الحرارة ، بينما يكون الأنورثيت والأرثوكليز محلولا جامدا محدوداً جداً ، أما الألبيت والأرثوكليز فإنهما يكونان متسلسلة كاملة عند درجات الحرارة العالية فقط وغير كاملة عند درجات الحرارة الأقل، ويمثل شكل (٢٢٧) هذه العلاقات ويمكن التعبير عن أى تركيب كيمائى فى هذا المثلث بذكر النسبة المئوية للمكونات الثلاثة والتى تختصر إلى اب (ألبيت) ، أن (أنورثيت)، أر (أرثوكليز) ، مثلا اب$_{٩٥}$ أن$_{٢}$ أر$_{٣}$ (تقريباً ألبيت نقى) ، اب$_{٢٠}$ أن$_{٢}$ أر$_{٧٨}$ (أرثوكليز غنى بالصودا) .



شكل (٢٢٧)

معادن الفلسبار البوتاسية

يوجد المركب الكيميائي $KAlSi_3O_8$ في أربعة أشكال بلورية في الطبيعة كل شكل منها يمثل معدنا مميزاً . هذه الأشكال الأربعة هي : —

سانيدين : درجات الحرارة العالية ، يوجد في صخور بركانية حمضية .

أرثوكليز : درجات الحرارة الأقل ، يوجد في صخور جوفية حمضية .

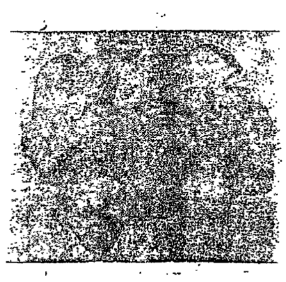
ميكروكلين : درجات الحرارة الأقل ، يوجد في صخور البجماتيت الجرانيتية .

أديولاريا : درجات الحرارة المنخفضة ، يوجد في العروق المائية الحارة .

وأكثر هذه المعادن انتشاراً في الطبيعة الأرثوكليز والميكروكلين .

أرثوكليز $KAlSi_3O_8$

يتبلور الأرثوكليز فى فصيلة الميل الواحد. نظام المنشور. البلورات منشورية الهيئة، وممتدة فى اتجاه المحور ا أو المحور حـ . تظهر البلورات أنواعا كثيرة من التوائم . يكثر وجود البلورات ، شكل (٢٢٨)، أى الكتل المنقسمة أو الحبيبية ولكن فى الصخور يوجد المعدن فى هيئة حبيبات لاشكل لها .



شكل (٢٢٨) : بلورات أرثوكليز

الصلادة = ٦ . الوزن النوعى = ٢ر٥٧ . يوجد مستويا انفصام أحدهما موازى للسطوح القاعدى {١٠٠} وهو كامل ، والآخر موازى للسطوح الجانبى {٠١٠} وهو جيد . البريق زجاجى . اللون أبيض أو رمادى . المخدش أبيض .

يتميز المعدن بلونه وصلادته وانفصامه ، ويتميز عن البلاجيوكليزات بزاوية انفصامه القائمة وعدم وجود الخطوط الدالة على التوائم المركبة على سطوح الانفصام.

يتحلل المعدن بسهولة بواسطة المياه المحملة بثانى أكسيد الكربون ، وينتج عن التحلل كربونات البوتاسيوم التى تذوب فى الماء. ويتخلف عن المعدن مخلوط من الكاولينيت والسليكا أو المسكوفيت والسليكا .

الأرثوكليز من المعادن الواسعة الإنتشار . ويوجد فى الصخور النارية الحمضية مثل الجرانيت والسيانيت، كما يوجد فى عروق البجماتيت (الميكروكلين أكثر

إنتشاراً منه فى هذه العروق) ، ويوجد أيضاً فى صخور الشست والميس والصخور الرسوبية مثل الأركوز، وفى بعض الأحيان فى الصخور الرملية والكونجلوميرات. يصاحب الأرثوكليز معادن الكوارتز والمسكوفيت والألبيت بصفة عامة فى هذه الصخور .

يستعمل الأرثوكليز كمصدر رئيسى فى صناعة الخزف حيث يطحن المعدن إلى مسحوق ناعم جداً ثم يخلط مع الكاولين أو الطين والكوارتز . وعندما يسخن المخلوط إلى درجات عالية من الحرارة ينصهر الفلسبار ويعمل كمادة لاحمة تربط أجزاء المخلوط بعضها ببعض ويكسب الفلسبار المصهور اللمعة للأوانى الخزفية ، كما تستعمل كميات قليلة من الأرثوكليز فى صناعة الزجاج لتمد العجينة الزجاجية بالألومنيوم .

ميكروكلين $KAlSi_3O_8$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميول الثلاثة ، نظام المسطوح . البلورات توأمية وتتقاطع مستويات التوائم بزاوية تقرب من ٩٠° (مقطع المعدن تحت الميكروسكوب يبدو كشبكة مكونة من خطوط طولية وعرضية متقاطعة بزوايا قائمة) . لا يوجد هذا النوع من التوائم فى الأرثوكليز . تبلغ بلورات الميكروكلين فى بعض صخور البجماتيت الجرانيتى أحجاماً ضخمة. وقد يتداخل الألبيت مع الميكروكلين .

الصلادة = ٦ . الوزن النوعى = ٢٫٥٤ – ٢٫٥٧ . الانفصام موازى للمسطوح القاعدى {٠٠١} والمسطوح الجانبى {٠١٠} حيث يتقاطعان بزاوية مقدارها ٣٠َ ٨٩° (فى الأرثوكليز تساوى هذه الزاوية ٩٠°). البريق زجاجى اللون أبيض أو أصفر باهت وفى بعض الأحيان النادرة أحمر . وقد يكون المعدن أخضر اللون ويعرف فى هذه الحالة باسم حجر الأمازون Amazone stone شفاف أو نصف شفاف .

يتميز المعدن عن الأرثوكليز بنوع التوائم الموجودة به (يستعمل الميكروسكوب فى هذا التميز) ، وكذلك إذا كان لونه أخضراً فهو ميكروكلين .

يوجد المعدن فى كثير من الصخور التى يوجد بها الأرثوكليز وخصوصاً

البجماتيت الجرانيتي. أما حجر الأمازون الذي يستخدم في أغراض الزينة فيوجد في جبال الأورال وبعض مناطق النرويج ومدغشقر .

معادن الفلسبار البلاجيوكليزية

تتبلور معادن هذه المجموعة في فصيلة الميول الثلاثة . وتكون معادن البلاجيوكليز ، التي تعرف أيضاً باسم معادن الفلسبار الصودية الكلسية ، متسلسلة كاملة من الأشكال المتشابهة تختلف في التركيب الكيميائي من الألبيت ، $NaAlSi_3O_8$ ، إلى الأنورثيت $CaAl_2Oi_2O_8$ ، ويحل الكالسيوم محل الصوديوم ويصحب ذلك إحلال الألومنيوم محل السليكون . وتقسم هذه المتسلسة إلى ستة أقسام اختيارية تبعاً لنسبة كل من الألبيت والانورثيت في كل قسم .

		٪ الألبيت	٪ للأنورثيت
ألبيت	Albite	١٠٠ — ٩٠	٠ — ١٠
أوليجوكليز	Oligoclase	٩٠ — ٧٠	١٠ — ٣٠
أنديسين	Andesine	٧٠ — ٥	٣٠ — ٥٠
لابرادوريت	Labradorite	٥٠ — ٣٠	٥٠ — ٧٠
بايتونيت	Bytownits	٣٠ — ١٠	٧٠ — ٩٠
انورثيت	Anorthite	١٠ — ٠	٩٠ — ١٠٠

ويلاحظ في معادن البلاجيوكليز أن الخواص المختلفة تتدرج تدرجاً منتظماً بين النهايتين ، وذلك بالرغم من إعطائنا أسماء مختلفة للانواع المتوسطة ، ولذلك يسهل الاحاطة بهذه المجموعة إذا نحن درسناها كلها كوحدة كاملة وليست كانواع بحواة .

ألبيت — أنورثيت

تتبلور معادن البلاجيوكليز في فصيلة الميول الثلاثة ، نظام المسطوح . البلورات مسطحة وموازية للمسطوح الجانبي {٠١٠} وأحياناً تكون ممتدة بمحاذاة المحور

ب . البلورات عادة توأمية مركبة من عدة توائم حسب قانون الالبيت التوأمى أو قانون بيريكلين Pericline ، وينتج عن هذه التوائم تخطيط الاسطح المختلفة للبلورة ، وقد يسهل رؤية بعضها بالعين المجردة ولكنها تنكشف بسهولة تحت الميكروسكوب . يوجد المعدن عادة كحبيبات غير منتظمة الشكل فى الصخور النارية .

الصلادة = ٦ . الوزن النوعى يتدرج من ٢ر٦٢ إلى ٢ر٧٦ ، شكل (١٧٦) صفحة (١٧٦) . ينفصم المعدن بسهولة موازيا للمسطوح القاعدى {٠٠١} ، وكذلك يوجد انفصام جيد موازى للمسطوح الجانبى {٠١٠} ، والزاوية بين هذين الانفصامين تساوى ٣٤َ ٩٥° فى الألبيت ، ١٢َ ٩٤° فى الأنورثيت .

هذه المعادن عديمة اللون أو بيضاء أو رمادية وفى أحوال قليلة قد تكون مائلة للخضرة أو الاصفرار أو الاحمرار . البريق زجاجى أو لؤلؤى شفاف أو نصف شفاف . بعض الأنواع مثل لابرادوريت تظهر خاصية عرض الألوان Play of colors بوضوح .

التركيب الكيميائى : سليكات الصوديوم والكالسيوم والألومنيوم . توجد متسلسلة كاملة من التشابه الشكلى بين الألبيت $NaAlSi_3O_8$ ، والانورثيت $CaAl_2Si_2O_8$. قد تحتوى الأنواع القريبة من طرف الألبيت على كميات لا بأس بها من البوتاسيوم درجة انصهار المعدن من ٤ — ٥ر٤ ، وتعطى كتلة زجاجية عديمة اللون .

يمكن تمييز هذه المعادن إذا أمكن تحقيق الخطوط الناتجة من التوائم الألبيتية على الأسطح الناتجة من الانفصام القاعدى . أما التعرف على الأنواع المختلفة من البلاجيوكليزات على وجه الدقة فإنه يستلزم إجراء التحاليل الكيميائية والدراسات البصرية بالميكروسكوب ، وكذلك يمكن التفرقة بينها بواسطة تعيين الوزن النوعى .

وجودها فى الطبيعة : تنتشر معادن الفلسبار البلاجيوكليزية (وهى معادن مكونة للصخور) فى الطبيعة بصورة أكثر من معادن الفلسبار البوتاسية ، كما أنها أكثر منها كمية . توجد معادن البلاجيوكليز فى الصخور النارية (بصفة عامة) والصخور المتحولة ، وفى حالات نادرة فى الصخور الرسوبية .

ويعتمد تصنيف الصخور النارية على نوع وكمية الفلسبار الموجود (أنظر صفحة ٢٢٠) . وفى هذا التصنيف وجد — كمبدأ عام — أنه كلما ازدادت النسبة المئوية للسليكا فى الصخر قلت كمية المعادن الداكنة وازدادت كمية الفلسبار البوتاسى ويكون البلاجيوكليز الموجود من النوع الصودى ، والعكس صحيح ، كلما قلت النسبة المئوية للسليكا ازدادت النسبة المئوية للمعادن الداكنة وأصبح البلاجيوكليز الموجود من النوع الكلسى .

ألبيت : بالاضافة إلى وجوده كمكون للصخور النارية فإن الألبيت يوجد فى جدد Dykes البجماتيت ، وقد يكون حالا محل الأوليجوكليز السابق فى عملية التبلور . ويطلق اسم كليفلانديت Cleavelandite على النوع اللوحى من الألبيت الذى يوجد فى صخور البجماتيت وتبدى بعض انواع الألبيت عرضا للألوان وتعرف فى هذه الحالة باسم حجر القمر Moonstone .

أوليجوكليز : يوجد فى مناطق مختلفة فى النرويج حيث يحتوى على مكتنفات inclusions من الهيماتيت تكسب المعدن بريقاً ووميضا ذهبياً . ويعرف مثل هذا الفلسبار باسم حجر الشمس Sunstone أو Aventurine oligoclase

أندسين : يوجد كحبيبات فى الصخور النارية، خصوصا فى الطفوح البركانية

لابرادوريت : معدن منتشر فى كثير من الصخور النارية القاعدية وكذلك كمعدن أساسى وحيد فى صخر الأنورثوزيت Anorthosite يوجد على ساحل لبرادور بكندا فى هيئة كتل كبيرة منفصمة تبدى عرضاً رائعاً للألوان .

بايتونيت : يوجد كحبيبات فى الصخور النارية القاعدية .

أنورثيت : أقل أنتشاراً من النوع الصودى . يوجد فى الصخور النارية وكذلك فى بعض الصخور الجيرية الحبيبية المتحولة بالحرارة .

تستعمل بعض أنواع معادن البلاجيوكليز فى صناعة الأحجار الكريمة . أما اللابرادوريت ذو خاصية عرض الألوان فيستخدم فى صناعة احجار الزينة ، ويستعمل الألبيت (يطلق عليه تجاريا اسم صودا سبار) فى صناعة الخزف طريقة مماثلة لطريقة استعمال الأرثوكليز.

مجموعة معادن الفلسباثويد

تشبه معادن هذه المجموعة من الناحية الكيميائية معادن الفلسبار ، فهى أيضا سليكات ألومنيومية للبوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم بصفة أساسية، وبعض الأيونات الأخرى بصفة قليلة . والاختلاف الرئيسى بين الفلسباثويد والفلسبار يرجع إلى كمية السليكا الموجودة فى كل منها . فتحتوى معادن الفلسباثويد على ثلثى كمية السليكا الموجودة فى معادن الفلسبار القلوية تقريبا ، وعلى ذلك فإنها تميل إلى التكون من المحاليل الغنية بالقلويات (الصوديوم والبوتاسيوم) والفقيرة فى السليكا . ويتكون بناء الفلسباثويدات الذرى من هيكل متشابك من السليكات الالومنيومية حيث تستضيف الفراغات البينية الكاتيونات (الصوديوم ، والبوتاسيوم ، والكالسيوم) ، وكذلك بعض الأنيونات الغريبة (كلورين ، كربونات ، كبريتات) . فمثلا يوجد الكلورين بصفة أساسية فى صوداليت ، وفى كانكرينيت يوجد أيون الكربونات ، بينما يحتوى نوزيليت على الكبريتات ويحتوى لازوليت على أيونات الكبريتيد والكلورين.

لوسيت $KAlSi_2O_6$

يتبلور فى فصيلة المكعب. يكثر وجود شكل ذو الأربعة وعشرون منحرفا على البلورات . يتبلور المعدن من اللافا (الحمم) فى الصخور البركانية . الصلادة =٥,٥ . الوزن النوعى =٢,٤٥—٢,٥٠ . البريق زجاجى أو معتم .اللون أبيض . نصف شفاف .

يتميز المعدن بشكله البلورى وعدم انصهاره.المعدن أقل صلادة من الجارنت . لوسيت من المعادن النادرة نسبيا . يوجد فى الصخور البركانية الحديثة مثل الطفوح الناتجة من بركان فيزوف .

نيفيلين $NaAlSiO_4$

يتبلور المعدن فى فصيلة السداسى ، نظام الهرم ، يوجد عادة فى هيئة كتلية متماسكة أو حبيبات منتشرة فى الصخر . الصلادة =٥,٥—٦ . الوزن النوعى =٢,٥٥ — ٢,٦٥ . الانفصام واضح وموازى للمنشور{١٠$\bar{1}$٠}.البريق

زجاجي فى البلورات الشفافة أو شحمى فى الأنواع الكتلية . اللون أبيض أو رمادى أو مائل للاصفرار . شفاف أو نصف شفاف .

يتميز المعدن فى الأنواع الكتلية ببريقه الشحمى . يفرق عن الكوارتز بصلادته الأقل ، وعن الفلسبار بتحوله إلى مادة غروية فى الأحماض . يتحلل المعدن بسهولة ليعطى معادن مختلفة مثل المسكوفيت والكاولينيت والزيوليتات (سليكات غنية بالماء اللألومنيوم والقلويات ، وهى معادن ثانوية النشأة) .

يوجد النيفيلين فى الصخور النارية خصوصاً البركانية الحديثة ، حيث يتبلور من المجما الغنية بالصودا والفقيرة فى السليكا .

كانكرينيت : سليكات مائية للصوديوم والكالسيوم والألومنيوم ، معدن يشبه النيفيلين فى الوجود فى الطبيعة والمعادن التى يصاحبها إلا أنه نادر الوجود.

صوداليت $Na_8(AiSiO_4)_6CI_2$

يتبلور صوداليت فى فصيلة المكعب ، نظام سداسى الثمانى الأوجه .البلورات نادرة . عادة كتلى أوحبيبات منتشرة . الصلادة=٥ر٥ — ٠٦ الوزن النوعى = ١٥ر٢ — ٣ر٢ . الانفصام إثنا عشر وجها معينا {١١٠}. البريق زجاجى اللون عادة أزرق . وكذلك أبيض أو رمادى أو أخضر . شفاف . درجة الإنصهار ٣ ½ — ٤ ويعطى مادة زجاجية عديمة اللون .

يوجد صوداليت فى صخور السيانيت النفيلينى والتراكيت والفونوليت مصاحبا معادن نيملين وكانكرينيت وغيرهما من معادن الفلسباثويد .

معادن مشابهة . هويفيت Hauynite $(Na,Ca)_{4-8}(AlSiO_4)_6(SO_4)_{1-2}$

نوزيليت Noselite $Na_8(AlSiO_4)SO_4$

لازوريت (اللابيز)

$(NaCa)_8\ (AlSiO_4)_6(SO_4,S,Cl)_2$

يتبلور المعدن فى فصيلة المكعب . البلورات نادرة . عادة كتلى متماسك . الصلادة = ٥ — ٥½ . الوزن النوعى = ٤ر٢ — ٤٥ر٢. الانفصام أثناعشر

وجها معينا {٠١١} غير كامل . البريق زجاجى . اللون أزرق عميق « كالزهرة » ، Azure blue ، أزرق مائل للخضرة ونصف شفاف . درجة الانصهار = ٣½ . ويلون اللهب بلون أصفر (صوديوم) .

لازوريت معدن نادر . ويوجد عادة فى الصخور الجيرية المتبلورة نتيجة للتحول الحرارى ، واللابيز (Lapis Lazuli) عادة عبارة عن مخلوط من اللازوريت مع كميات بسيطة من الكالسيت والبيروكسين ، كما يحتوى عادة على جسيمات منتشرة من البيريت . ويستخرج أحسن أنواع اللابيز من شمال شرق أفغانستان . كما يوجد فى سيبيريا والصين . يستخدم المعدن كحجر كريم .

بتاليت $Li(AlSi_4O_{10})$

يتبلور بتاليت فى فصيلة الميل الواحد ، نظام المسقوف . البلورات نادرة . يوجد عادة فى هيئة كتل قد تكون منفصمة .

الصلادة = ٦ — ٦½ . الوزن النوعى = ٢ر٤ . انفصام قاعدى {١٠٠} كامل . المكسر محارى غير كامل . قابل للكسر . البريق زجاجى ، ولؤلؤى على (١٠٠) . عديم اللون أو أبيض أو رمادى ، شفاف أو نصف شفاف . درجة الانصهار = ٥ ، ويلون اللهب بلون الليثيوم الاحمر .

يوجد البتاليت فى صخور البجماتيت مصاحبا الكوارتز والمعادن المحتوية على الليثيوم مثل سبودبومين وليبيدولايت وتورمالين .

مجموعة معادن سكابوليت

توجد معادن سكابوليت فى الصخور المتحولة ، وقوانينها الكيميائية تشبه معادن الفلسبار ، أما بناؤها الذرى فيتكون من سلاسل لا نهائية من هياكل السليكات الالومنيومية المتشابكة والممتدة موازية للمحور ح . البلورات عبارة عن منشورات رباعية مستطيلة فى موازاة المحور ح . والبناء مفتوح نوعا ما ويستوعب أنيونات كبيرة مثل الكلورين والكبريتات والكربونات بنفس

الطريقة التي توجد بها هذه الانيونات فى معادن الفلسبا ثويد . وتوجد متسلسلة كاملة من الاشكال المتشابهة بين الطرف الصودى مرياليت Marialite والطرف الكلسى ميونيت Meonite . ويمكن التعبير عن قانون مرياليت بأنه مكون من ثلاثة أوزان لقانون الالبيت $3(NaAlSi_3O_8)$ مضافا إليها وزن واحد لقانون NaCl . أما الميونيت فيتكون من ثلاثة أوزان لقانون أنورثيت $3(CaAl_2Si_2O_8)$ مضافا إليها وزن واحد لقانون $CaCO_3$ أو $CaSO_4$. وتحل أيونات الكالسيوم محل الصوديوم إحلالا مطلقا ويصاحبها طبعاً إحلال الالومنيوم محل السليكون لينتج التعادل الكهربائى . تماما كما هو الحال فى معادن البلاجيوكليز . كذلك يوجد إحلال تام بين أيونات الكربونات والكبريتات والكلورين . ويطلق على النوع المتوسط للاسكابوليت بين الطرفين الصودى (مرياليت) والكلسى (ميونيت) اسم ورنيريت Wernerite .

سكابوليت (ورنيريت)

فصيلة الرباعى . نظام الهرم المنعكس . البلورات منشورية . الصلاده = ٥ - ٦ . الوزن النوعى = ٢٫٦٥ — ٢٫٧٤ الانفصام منشورى ، يوجد كلا النوعين { ١٠٠ } ، { ١١٠ } . البريق زجاجى عندما يكون غير متحلل . اللون أبيض أو رمادى أو أخضر باهت . شفاف أو نصف شفاف .

التركيب الكيميائى : يتدرج التركيب الكيميائى بين الطرف الصودى : مرياليت $(Na,Ca)_4Al_3(Al,Si)_3Si_6O_{24}(Cl,CO_3,SO_4)$ والطرف الكلسى : ميونيت $(Ca,Na)_4Al_3(Al,Si)_3Si_6O_{24}(Cl,CO_3SO_4)$. درجة الانصهار = ٣ مع الانتفاخ وحدوث رغوة وتكوين مادة زجاجية .

يوجد معدن سكابوليت فى صخور الشست والنيس والأمفيبوليت ، وفى حالات عديده يحتمل تكونه نتيجة لتحلل معادن الفلسبار البلاجيوكلبوية . كما يوجد المعدن بصفة مميزة فى الصخور الجيرية المتبلورة المتكونة بالتحول الحرارى الذى يحدث نتيجة لتداخل صخور نارية . يصاحب المعدن ديوبسيد وأمفيبوليت وجارنت وأباتيت وسفين وزرقون .

مجموعة معادن زيوليت

Zeolites

تضم هذه المجموعة عددا كبيراً من المعادن السليكاتية المائية ، التى تتشابه فى تركيبها الكيميائى ، والمعادن المصاحبة لها ، ووجودها فى الطبيعة . ومعادن الزيوليت عبارة عن سليكات للالومنيوم والصوديوم والكالسيوم بصفة أساسية وتحتوى على نسبة كبيرة من الماء . وتتراوح صلادة أفرادها من ٣٠٥ إلى ٥٠٥ بينما يتراوح الوزن النوعى من ٢٠٠ إلى ٢٠٤ وينصهر كثير من معادن الزيوليت بسهولة ، ويصحب ذلك انتفاخ وحدوث رغوة ، تلك الصفه التى اشتق منها إسم المجموعة زيوليت Zeolites ، الذى يتكون من مقطعين باللغة اليونانية معناهما « يغلى » و « حجر » . وهذه المعادن ثانوية النشأة . وتوجد بصفة مميزة فى الفراغات والفقاقيع والعروق فى الصخور النارية البركانية القاعدية .

تشبه معادن الزيوليت فى تركيبها الكيميائى وبنائها الذرى معادن الفسلبار ، إذ تتكون من سلاسل حلقية (تماثل رباعى) من رباعيات الأوجه AlO_4,SiO_4 وتتصل السلاسل بعضها ببعض عن طريق الكاتيونات البينية ، وهى الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والباريوم ، وتكون هذه السلاسل بناء مفتوحاً ذا قنوات Channel ways يتواجد فيها الماء وغيره من الجزيئات . ويرجع اهتمامنا بمعادن الزيوليت إلى وجود هذه القنوات الفسيحة . وعندما يسخن معدن زيوليتى فان الماء يطرد بسهولة وباستمرار بارتفاع درجة الحرارة تاركا البناء الذرى للمعدن سليما ، وهذا لا يحدث بالمرة فى المعادن المائية الأخرى ، مثل الجبس ، التى تشترك جزيئات الماء فى البناء نفسه ، ويؤدى طرد الماء فيها إلى انهيار البناء الذرى للمعدن . وبعد أن يطرد الماء كله من القنوات فى معدن الزيوليت ، يمكن ملء هذه القنوات بالماء أو الأمونيا أو بخار الزئبق أو بخار اليود أو غيرها من المواد المختلفة . وهذه العملية هى عملية اختيارية . وتتوقف على نوع البناء الزيوليتى وحجم الجزيئات التى تسمح لها بالدخول ، وعلى ذلك تستعمل معادن الزيوليت الآن كمصافى للجزيئات وفصل الأنواع المختلفة من هذه الجزيئات بعضها من بعض .

ولمعادن الزيوليت فائدة أخرى ناشئة عن بنائها . عندما يمر الماء بسهولة فى القنوات الداخلية فان الأيونات الموجودة فى محلول الماء يمكن أن تستبدل

exchanged مع الأيونات الموجودة فى بناء المعدن ، وتعرف هذه العملية باسم « المبادلة القاعدية » « base exchange » أو « المبادلة الكاتيونية » « cation exchange » ؛ وبهذه الطريقة أمكن استعمال معادن الزيوليت أو المركبات الصناعية ذات البناء الزيوليتى لإزالة عسر الماء والزيوليت المستعمل فى هذه الأحوال له التركيب الكيميائى $Na_2Al_2Si_3O_{10}2H_2O$ تقريبا (مثل نطروليت) ويمرر الماء « العسر » (الذى يحتوى على أيونات كالسيوم والمحلول) فى حوض ملىء بحبيبات الزيوليت، وتحل أيونات الكالسيوم محل أيونات الصوديوم فى الزيوليت مكونة مركب $CaAl_2Si_3O_{10}2H_2O$ وتذهب أيونات الصوديوم إلى المحلول . وعندما يتشبع الزيوليت الموجود في الحوض بالكالسيوم يمرر محلول مركز من كلوريد الصوديوم فى الحوض وترغم درجة التركيز العالية لايونات الصوديوم التفاعل أن يأخذ اتجاها عكسيا . ويستعاد تكوين المركب $Na_2Al_2Si_3O_{10}2H_2O$ ويذهب الكالسيوم إلى المحلول .

أنالسيت « أنالسيم » $Na(AlSi_2O_6).H_2O$

يتبلور المعدن فى فصيلة المكعب . نظام سداسى الثمانى الأوجه . تظهر عادة أوجه شكل شبه المنحرف المكون من أربعة وعشرين وجها . يوجد عادة فى هيئة بلورات وكذلك كتل حبيبية . الصلادة = ٥ — ٥ر٥ . الوزن النوعى = ٢٧ر٢ . البريق زجاجى . عديم اللون أو أبيض . شفاف أو نصف شفاف . درجة الانصهار ½٢ ويتحول إلى مادة بيضاء ثم زجاجية شفافة . يلون اللهب بلون أصفر (الصوديوم) . يعطى ماء فى الأنبوبة المقفولة .

أنالسيت عموما معدن ثانوى النشأة يتكون تحت تأثير المياه الجارية الحارة ولذلك يوجد مترسباً فى فجوات الصخور النارية البركانية. ويصاحب الكالسيت ومعادن الزيوليت الأخرى .

نطروليت $Na_2(Al_2Si_3O_{10})2H_2O$

يتبلور المعدن فى فصيلة الميل الواحد . نظام الوتد . معينى قائم كاذب . منشورات وإبر . يوجد عادة فى هيئة مجموعات لبلورات شعاعية ، كذلك أليافى أو كتلى أو حبيبى أو متماسك .

الصلادة = ٥ — ٥ر٥ . الوزن النوعى = ٢٥ر٢ الانفصام منشورى {١١٠} كامل . البريق زجاجى . عديم اللون أو أبيض . شفاف أو نصف شفاف . درجة الانصهار ٥ر٢ . ويعطى مادة زجاجية ويلون اللهب بلون أصفر (صوديوم) .

نظروليت معدن ثانوى النشأة . يوجد مبطنا الفجوات فى صخور البازلت ويصاحب معادن زيوليت أخرى وكالسيت .

كابازيت $(Ca,Na)_2(Al_2Si_4O_{12})6H_2O$

فصيلة الثلاثى . أشكال معينية الأوجه . وعادة توائم متداخلة . الصلادة = ٤ — ٥ . الوزن النوعى = ٠٥ر٢ — ١٥ر٢ . الانفصام {١٠١١} ضعيف . اللون أبيض أو أصفر أو وردى . شفاف أو نصف شفاف . درجة الإنصهار ٣ . يتحلل (دون حدوث فوران) بواسطة حامض الهيدروكلوريك

كابازيت معدن ثانوى النشأة يوجد مصاحبا معادن الزيوليت الأخرى ومبطنا الفجوات فى البازلت .

هيولنديت $Ca(Al_2Si_7O_{18}).6H_2O$

الميل الواحد . ولكنها معينية قائمة كاذبة . الصلادة = ٥ر٣ — ٤ . الوزن النوعى = ١٨ر٢ - ٢ر٢ . الانفصام كامل موازى للمسطوح الجانبى {٠١٠} . البريق زجاجى ، ولؤلؤى على سطح الانفصام . عديم اللون أو أبيض أو أصفر أو أحمر . شفاف أو نصف شفاف . درجة الانصهار ٣ .

هيولنديت معدن ثانوى النشأة يوجد فى الفجوات فى الصخور النارية البركانية القاعدية ومصاحبا معادن الزيوليت الأخرى والكالسيت .

ستلبيت $Ca(Al_2Si_7O_{18})7H_2O$

الميل الواحد . ولكنها معينية كاذبة (توائم متصالبة) البلورات موجودة فى حزم . الصلادة = ٣½ — ٤ . الوزن النوعى = ١ر٢ — ٢ر٢ . الانفصام مسطوح جانبى {٠١٠} كامل . البريق زجاجى ولؤلؤى على سطح الانفصام . اللون أبيض . نصف شفاف . درجة الانصهار ٣ . ستلبيت معدن ثانوى النشأة يوجد فى الفجوات فى صخور البازلت وما شابهها من الصخور البركانية .

الباب العاشر

المعادن فى الصناعة

يرجع استغلال الثروات المعدنية الى آلاف من السنين مضت . ومنذ ذلك الزمن البعيد والمعادن تسهم بنصيب وافر فى بناء حضارة الانسان .

فى العصر الحجرى القديم استعمل الانسان الاول مواد غير فلزية هى الصوان والكوارتز (المرو) واحجار صلدة واخرى رخوة ؛ وذلك لعمل اسلحته وادواته وفى اغراض النقش . ولقد استعمل الطين الى درجة كبيرة كبيرة فى اول الامر فى صناعة الفخار ، ثم تلى ذلك استخدامه فى صناعة الطوب . ومما لا شك فيه أن صناعة الطوب تعتبر أول صناعة معدنية قام بها الانسان القديم ، ولقد ظلت هذه الصناعة باقية على نطاق واسع حتى وقتنا هذا . لقد تم اكتشاف أدوات فخارية يرجع تاريخها الى اكثر من عشرة آلاف سنة وتمتد الى ثلاثين سنة قبل الميلاد ، لقد استعمل البابليون والمصريون القدماء الواح الطين والطوب بكميات كبيرة فى بناء مدنهم ، وفى الرى ، وفى مواد الكتابة ، وبعد ذلك استخدمت احجار البناء على نطاق كبير . ويعتبر بناء الاهرامات (٢٩٦٠ — ٢٩٢٥ ق . م .) اكبر شاهد اثبات على هذه الصناعة المعدنية الضخمة التى قامت فى تلك الازمنة السحيقة . يدل على ذلك ان الهرم الاكبر يضم مليونين وثلاثمائة الف قطعة مكعبة الشكل تقريبا من الحجر الجيرى ، تزن الواحدة منها ٥ر٢ طن فى المتوسط . ولقد استخدم انسان العصر الحجرى القديم فى الفترة التى سبقت ٧٠٠٠ سنة قبل الميلاد ثلاثة عشر نوعا من المواد المعدنية نذكر منها الكوارتز بأنواعه والبيريت والكالسيت والكهرمان والتلك وذلك بالاضافة الى البويات المعدنية والمغرات المختلفة .

أما فى العصر الحجرى الحديث فقد تعرف الانسان على الذهب والنحاس والفيروز وغيرها من المعادن . ولقد وصلت صناعة الاحجار الكريمة واستخراجها عند قدماء المصريين والبابليين والاشوريين والهنود مرتبة عالية . وترجع الرغبة فى اقتناء الاحجار الكريمة الى الاعجاب بجمالها وروعتها التى تأخذ بالنفوس والوانها الجذابة ، فاستخدموا الفيروز (ذو اللون الازرق المشوب بخضرة جميلة) ، الأميثست (ذو اللون البنفسجى) ، والزمرد (ذو اللون الاخضر) ، والملاكيت ، والكارنيليان (الاحمر) والاجيت والكالسيدونى والجاربت . ولقد كان القدماء يصنعون لهذه الاحجار أوجها مصقولة ، او يشكلونها

على هيئة كرات واشكال بيضاوية ؛ استخدموها فى عقودهم وحليهم ، ويبدو انه كان هناك فى تلك الإزمنة الغابرة نوع او آخـر من التبادل التجارى بين الدول : اذ يحتمل ان يكون قدماء المصريين قـد حصلوا على اللابيز (والذى لا يوجد فى مصر) من افغانستان التى تبعـد — ٣٧٠٠ كيلو مـترا عـن مصـر .

ان اقدم مناجم استغلت فى مصر كانت منـذ حوالى ٢٠٠٠ ق . م . حين ارسـل الفراعنـة البعثات المكونـة من المهندسين والمستكشفين الى شبه جزيـرة سيناء حيث استغلوا معـدن النيروز ومعادن النحاس حيث يوجـد بقايا أقدم فرن لصهر النحاس فى العـالم . كانت طريقة صـهر النحـاس بدائيـة نسبيا . فقد كانت تخلط قطع الملاكيت (كربونات النحاس المـائية) بالاخشاب او بالفحم النباتى وتوضع فى حفرة قليلة العمق ، ويحـرق هـذا الخليط بمسـاعدة انابيب نفخ الهواء (البورى) . ولقـد كان للآلات النحاسية التى صنعت من هـذا النحاس الفضل فى تطور آلات استخراج المعـادن وفى دقـة صناعة الاوانى الحجرية .

ذهب القدماء ايضا الى الصحراء الشرقية حيث حفروا الارض بمئـات الثقوب والانفاق بحثا عن الزمرد . ويقال أن هذه الانشاءات المنجميـة وصلت الى عمق يقرب من ٣٠٠ مترا ، وبلغت من الاتسـاع بحيـث تسمح لاربعمائـة رجل بالعمل فيها دفعة واحدة . ويعتقد ان الذهب استعمل قبـل النحاس . ولقد استخدم قدماء المصريين رحى يدوية مصـنوعة من صخر الديوريت الصلد لطحن صخور الكوارتز الحاوية على الذهب . ثـم استخلصوا الذهب بغسـل الطحين فى اوانى ملأى بالمـاء فيرسب فتات الذهب (لثقله) الى القاع وتبقى المواد الترابية عالقة فى المـاء بعض الوقت .

ازدادت معرفة الانسان بالمعادن والصخور واستخدامه لهـا على مر السنين ، وأمكن استخلاص الفلزات منها . وانتقل الانسان من عصر النحاس والبرونز الى عصر الحديد والفحم والبترول وحاليا عصر اليورانيوم (الانشطار النووى) ثـم عصر السليكون (اشباه الموصلات وصناعة الآلات الحاسبة) .

وقديما كانت المعادن الثمينة والأحجار الكريمة تحتـل مكان الصدارة ، ولكن منـذ اختراع الانسـان للآلات ، انتقلت اهمية المعادن الى معادن الحديـد والنحاس والرصاص والزنك والمـاس (النوع المستخدم فى الصـناعة) واليورانيوم والسليكون . ولقـد بلغ من اعتماد مدنية الانسان على المعـادن ما تشير به الاحصائيات من تضاعف انتاج المعادن فى النصف الاول من القرن الحالى (العشرين) عن كل ما انتج من معادن قبل ذلك ثم تضاعف الانتـاج مرة

اخرى فى السنوات الخمس وعشرين الاخيرة (الربع الثالث من القرن العشرين) .

ومن هذا نرى الاهمية القصوى للمعادن فى بناء مدنية الانسان ودعم اقتصادياته . اننا نلاحظ ان جميع المواد غير العضوية التى تتداول فى التجارة اما أن تكون معادن او موادا اصلها معادن .

يمكن تصنيف الصناعات التى تستخدم المعادن الى الاقسام التالية :

١ — صناعة الفلزات .

٢ — صناعة اشباه الموصلات .

٣ — صناعة الخزف .

٤ — صناعة مواد الصنفرة .

٥ — صناعة الاحجار الكريمة .

٦ — صناعة مواد البناء .

٧ — صناعة الحراريات .

٨ — صناعة الكيماويات .

١ — صناعة الفلزات

صناعة الفلزات الحديدية :

يأتى الحديد على قمة ما يعرف باسم الفلزات الحديدية والتى تضم بالاضافة الى الحديد فلزات المنجنيز والكروميوم والتيتانيوم والنيكل والكوبالت والتنجستن والمولبدنوم ، بينما يأتى النحاس على قمة الفلزات غير الحديدية والتى تضم بالاضافة الى النحاس فلزات الالومنيوم والرصاص والزنك والقصدير والزئبق والانتيمون . أما بقية الفلزات فتضمها مجموعات الفلزات الثمينة (الذهب والفضة والبلاتين) ، والفلزات الخفيفة (البريليوم والليثيوم والروبيديوم والسيزيوم والمغنسيوم) ، والفلزات النادرة (الزركونيوم والتانتلوم والنيوبيوم) ، ثم الفلزات المشعة (اليورانيوم والثوريوم ،

الحديد : يعتبر **الحديد** بدون منازع العمود الفقرى لقوة الدولة العسكرية والاقتصادية (وانزلنا الحديد فيه بأس شديد ومنافع للناس) . ويتم انتاج

الحديد من خاماته المعدنية على مراحل اربع : الحديد الغفل ، الحديد الزهر ، الحديد المطاوع ، الصلب ؛ لكل مرحلة نوعها الخاص من الافران والمحولات . ويعتبر الهيماتيت والجوثيت (الليمونيت) والماجنتيت أعم المعادن المكونة لخامات الحديد . ويعتبر الكبريت والفوسفور والزرنيخ شوائب ضارة غير مرغوب فى تواجدها فى الخام ، بينما يعتبر النيكل والكروميوم والتيتانيوم والموليبدنوم والفانديوم عناصر مرغوب فى تواجدها فى الخام . يقدر احتياطى العالم من خامات الحديد الغنية بحوالى ١٥٠ بليون طن ، وتتوافر معظم هذه فى دول الاتحاد السوفيتى ووسط اوروبا (اقليم الالزاس واللورين) وكندا وفنزويلا والصين وانجلترا والهند والبرازيل .

وقد بلغ انتاج العالم من الحديد عام ١٩٨٠ ما يقرب من ٧٠٠ مليون طن ويأتى الاتحاد السوفيتى (١٤٩ مليون طن) واليابان (١١١ مليون طن) والولايات المتحدة الامريكية (١٠٠ مليون طن) فى القمة ، بينما تنتج الجزائر مليونا ونصف المليون طن ولا يتجاوز انتاج مصر المليون طن . وذلك فى الوقت الذى يتجاوز فيه احتياطى الدول العربية ثلاثة بلايين طن (معظمها فى الجزائر) .

وتدخل الفلزات الحديدية التالية فى صناعة أنواع متميزة من سبائك الصلب تستعمل فى اغراض معينة تبعا لخواصها من مقاومة للصدأ الى مقاومة الانصهار الى الصلادة العالية جدا .

المنجنيز : ومعادنه البيرولوسيت ، والمنجانيت والبسيلوميلين ويدخل فى صناعة قضبان السكك الحديدية والمنشآت الحديدية والصلب عالى المنجنيز الذى يستخدم فى الكسارات وعمليات وتجهيزات المناجم التى تحتاج أدواتها الى صمود للتآكل وتحمل للضغوط . ويقدر ما ينتجه العالم من خام المنجنيز ما يقرب من خمسة ملايين طن ؛ ينتج الاتحاد السوفيتى منها النصف . وتنتج المغرب حوالى ١٥٠ الف طن بينما تنتج مصر نصف هذا الرقم تقريبا .

الكروميوم : يستخدم الكروميوم فى صناعة السبائك (٤٠٪ من انتاج العالم للكروميت) وفى صناعة الحراريات (٤٥٪) وفى الصناعات الكيميائية (١٥٪) . تتميز سبائك الكروميوم باكتسابها صلادة والقابلية للطرق والسحب ومقاومة التآكل والمقاومة العالية للكهرباء ومقاومة الصدأ . ويستخلص الكروميوم من معدن الخام المعروف باسم كروميت . ويبلغ انتاج العالم من خام الكروميت خمسة ملايين طن ؛ تسعين بالمائة منها تنتجه ست دول

هى : الاتحاد السوفيتى (٢٢٪) وجنوب افريقيا (٢١٪) والفلبين (١٥٪) وزيمبابوى (١٣٪) وتركيا (١٢٪) وألبانيا (٥٪) . يلاحظ أنه باستثناء الاتحاد السوفيتى فان جميع الدول الكبرى المنتجة للحديد والصلب فى العالم تفتقر الى انتاج الكروميت مما يجعلها تعتمد كليا على استيراد احتياجاتها من الكروميت .

النيكل : تتنوع استخدامات النيكل فى الصناعة لدرجة تجعل هذا الفلزت ذات اهمية كبيرة . يستخدم النيكل فى انتاج (١) السبائك الحديدية المستخدمة فى الصلب الذى لا يصدأ والصلب ذو المقاومة العالية والقابلية للسحب وكلها انواع تستخدم فى صناعة السيارات والطائرات وقضبان السكك الحديدية والطواحين ومعدات المناجم . (٢) اما السبائك غير الحديدية فيخلط النيكل فيها بالنحاس والزنك لتستخدم فى اغراض الزينة ، بينما يستخدم برونز النيكل فى الهندسة البحرية . (٣) اما النيكل النقى فيستخدم فى الطلاء بالنيكل .

يأتى معظم انتاج العالم الآن من النيكل من كندا والاتحاد السوفيتى وكوبا والولايات المتحدة الامريكية وجزيرة نيوكاليدونيا واستراليا ، ويبلغ انتاج العالم من خام النيكل (معادن بنتلانديت ، ميلليريت ، نيكوليت ، جارنيريت) ما يقرب من أربعمائة الف طن .

التيتانيوم : كانت استخدامات التيتانيوم حتى عام ١٩٥٠ محدودة جدا ، وربما كان الاستعمال الوحيد حتى ذلك الوقت هو فى صناعة طلاء (بوية) اللاكيه الابيض ذو قوة الحجب المتميزة من اكسيد التيتانيوم والذى يتميز عن الطلاءات الاخرى البيضاء التى يدخل فى صناعتها الرصاص والزنك . يعتبر أهم استخدام للتيتانيوم فى الوقت الحاضر هو فى صناعة محركات الطائرات النفاثة والصواريخ وخزانات الوقود حيث لا تحدث شروخ فى هذه الخزانات المصنوعة من سبائك التيتانيوم بالسهولة التى تحدث فى فلزات أخرى . يحصل العالم على التيتانيوم من معدنى الالمنيت والروتيل حيث يبلغ الانتاج السنوى من هذين المعدنين أقل من مليونى طن وتنتج الولايات المتحدة الامريكية وكندا اكثر من نصف هذه الكمية .

الكوبالت : يستخدم الكوبالت حاليا فى صناعة سبائك الكوبالت المتنوعة واهمها سبيكة الكوبالت (الحديدية وغير الحديدية) المستخدمة فى صناعة المغناطيسات الدائمة والقادرة على رفع حمولات كبيرة تصل الى ٦٠ ضعف وزن المغناطيس المستخدم . ويحصل العالم — على الكوبالت من معادن خام الكوبالت (لنيت ، كوبالتيت ، سمالتيت) . يحصل العالم على احتياجاته من

خام الكوبالت التى تصل الى خمســة عشر الف طن سنويا من زائير وزامبيا واوغنــده والمغرب فى أفريقيــا ، ومن الولايات المتحدة وكنــدا .

التنجستن المولبدنوم : ولو ان معرفتنا بالتنجستن تعود الى استخدامنــا له من وقت طويل فى صناعة فتيلة المصابيح الكهربائية التى تضىء لنــا فى البيوت الا ان هــذه الصناعة لا تستهلك اكثر من ٢٪ من انتــاج العالم من خــام التنجستن ، أما ٩٥٪ من انتاجه فيستهلك فى صناعة الصــلب . كذلك يستخدم المولبدنوم فى صناعة الصــلب . ويتميز صلب التنجستن وصلب المولبدنوم بكفاءة عاليــة فى تطع الاشياء (فلزات وغــير فلزات) حتى ولــو كانت هذه العملية تتم عند درجة حرارة عالية دون أن تفقد الآلات المصنوعة منهــا فاعليتها (تقطع هــذه الآلات الصــلب العادى كما لو كنا نقطع قطعة مــن الجبن بســكين) . كما تستخدم سبائك التنجستن والمولبدنوم فى صــناعة المكابس الثقيلة . الولوفراميت خام التنجستن ، أما المولبدنيت فهو خام المولبدنوم .

صناعة الفلزات غــير الحديديــة :

النحاس : يحتمل ان يكون النحاس اول فلز استخدمه الانســان فى العصر الحجرى الحديث (عصر النحاس وعصر البرونز) . تعزى الاهمية الاستراتيجية للنحاس الى مقدرته الفائقة على توصيل الكهرباء حيث تستخدم كميــات ضخمة من النحاس فى الصناعات الكهربائية وسبائك النحاس . سبائك النحــاس كثيرة نذكر منها البرونز (٨٠ ــ ٨٨٪ نحاس والباقى قصــدير) والنحــاس الاصفر (سبيكة من النحاس والزنك) والفضــة الالمــانية (سبيكة من النحاس والزنك والنيكل) والكوميت (سبيكة من النحاس والالمنيوم والحديد) .

يحصل العالم على النحاس الذى يستخلصه من خاماته وأهم المعــادن المكونة لهذه الخامات الكالكوبيريت والكالكوسيت وبعض المعادن الكبريتديــة والكربوناتية والكلوريدية المتاكســدة ويبلغ الانتاج السنوى العــالمى لخام النحاس ما يقــرب من خمســة ملايين طن تنتج الولايات المتحدة الامريكيــة وحدها نصف هــذا الرقم ويليها زامبيا والاتحاد السوفييتى وكندا وشيلى . وتكون دول زائير وزامبيا وشيلى وبيرو منظمة تعرف باسم منظمة دول منتجى ومصدرى النحاس .

الرصاص والزنك : يستخدم الرصاص فى التكنولوجيا الذرية والنووية حيث تصنع منــه الواح الرصاص وتغليف الكابلات وسبائك متعددة ، ودروع الوقــاية مــن الاشــعة السينية وأحرف الطبــاعة والبطاريات الكهربائية فى وسائل النقــل .

اما الزنك فيستخدم فى عمليات الجلفنة (اى تغطية الواح الحديد بغشاء رقيق من فلز الزنك تمنع الحديد من الصدأ) . كما يستخدم الزنك فى صناعة سبائك كثيرة ، وكذلك فى صناعة المواسير والالواح وفى الصناعات الكيميائية .

يرجع الجمع بين الرصاص والزنك فى عنوان واحد الى تواجد الفلزين عادة مع بعضهما البعض فى الطبيعة فى رواسب معقدة من الخامات تحتوى ايضا على فلزات الفضة والكادميوم والنحاس والذهب والقصدير والكوبالت وغيرها من العناصر الشحيحة بتركيزات متفاوتة . ولكن هناك أيضا رواسب منفصلة لكل من خامات الرصاص والزنك .

يحصل العالم على الرصاص من معادن خامات الرصاص واهمها الجالينا ويكثر وجود الفضة فى هذا المعدن بكميات تجعل انتاجها كفلز جانبى عملا مربحا ، ولا نبالغ اذا قلنا أن معظم الفضة التى يحصل عليها العالم تأتى من خامات الرصاص . وينتج العالم سنويا ما يقرب من ثلاثة ملايين طن من خامات الرصاص تستخرج من استراليا والاتحاد السوفيتى والولايات المتحدة الامريكية والمكسيك وكندا ومن الدول العربية المغرب والجزائر وتونس (حزام جبال اطلس) .

اما الزنك فيزيد انتاج العالم السنوى له (سفاليريت) عن ثلاثة ملايين طن قليلا والدول المنتجة له هى نفس الدول المنتجة للرصاص التى ذكرنا آنفا .

القصدير : ترجع اهمية القصدير فى الوقت الحاضر الى استخداماته فى صناعة البرونز وسبائك القصدير المختلفة ومنها ما هو قابل للصهر بعد الاستعمال الاول ليستخدم مرة أخرى ومواد اللحام والطلاء الكهربائى فى صناعة الصفيح الذى يستخدم فى صناعة حاويات المأكولات والمشروبات المحفوظة .

يعتبر الكاستريت اهم معادن خامات القصدير ، ويأتى نصف انتاج العالم (٧٥ الف طن) من ملايزيا واندونيسيا ، بينما يأتى معظم الباقى من بوليفيا والصين وزائير ونيجيريا .

الالومنيوم : منذ خمسة وثمانين عاما لم يكن يعرف الانسان طريقة تجارية لانتاج الالومنيوم بالرغم من ان الفلز اكثر انتشارا فى الطبيعة من الحديد ، ولكن الحديد سبق الالومنيوم فى الانتاج التجارى بمئات السنين . يرجع السبب الرئيسى فى ذلك الى أن الفحم يمكنه أن يأخذ الاكسجين من اكاسيد الحديد بينما

لا يمكنه أن يفعل ذلك بالنسبة لاكاسيد الالمنيوم . فقط فى أواخر القرن التاسع عشر تمكن العلماء من استخلاص الالومنيوم من خام الألومنيوم بعد صهره مع الكريوليت (مادة مصهرة) فى فرن خاص وتحليل الصهيرة تحليلا كهربائيا . ويحتاج انتاج طن من الالومنيوم الى طاقة كهربائية مقدارها ٢٥ الف كيلو وات / ساعة او ما يعادل ٢٠ طنا من الفحم (٢٠ ضعف بالنسبة للحديد) . لهذا نجد ان مصانع انتاج الالومنيوم تشيد حيث مصادر الطاقة الكهربائية رخيصة (بالقرب من مساقط المياه الطبيعية او الصناعية ومحطات توليد الكهرباء التوربينية التى تعمل بغازات حقول البترول) .

يجد الالومنيوم فى الوقت الحاضر استخدامات كثيرة تعزى الى انخفاض وزنه النوعى (٢٫٧ — فلز خفيف) ، قوته الميكانيكية العالية ، مقاومته للتأكسد ، وتوصيله الجيد للكهرباء . لذلك يستخدم فى صناعة الطائرات والسيارات والهندسة الكهربائية (خطوط نقل القوى الكهربائية) ، القضبان الحديدية ، الانشاءات الميكانيكية وغيرها . وتصل سبائك الالومنيوم الى قوة الصلب بينما تزن فقط ثلث وزنه ويحصل العالم على الالومنيوم من خاماته المختلفة واهمها البوكسيت ويقدر الانتاج العالمى السنوى منها ما يقرب من ثلاثين مليون طن تأتى من دول عديدة .

الزئبق : تفوق استخدامات الزئبق الالف فى عددها . يستخدم الزئبق فى استخلاص الذهب بطريقة الملغم فى عمليات المناجم ، فى المفرقعات ، استخلاص الفلزات غير الحديدية من خاماتها الفقيرة بطريقة المعالجة الفلزية المائية ، كعامل محفز ، فى الهندسة الكهربائية وفى العديد من أجهزة القياس والتحكم الدقيقة ، فى مصابيح الكوارتز ، مكثفات التيار ، مضخات التفريغ والمركبات الكيميائية المستخدمة فى الادوية والكيماويات وكثير غيرها . ويستخدم ثلث الانتاج العالمى على هيئة فلز الزئبق .

يعتبر السنبار اهم معادن الزئبق . ويحصل العالم على الزئبق (١٦ الف رطل سنويا او ما يعادل ثمانية آلاف طن قصير تقريبا) من ايطاليا واسبانيا (نصف الانتاج) والولايات المتحدة الامريكية ويوغسلافيا والمكسيك واليابان والصين . يباع الزئبق فى قوارير من الحديد المطاوع سعة الواحدة ٧٦ رطلا .

الانتيمون : يستخدم الانتيمون بصفة اساسية فى اكساب مختلف سبائك الرصاص صلادة لها . هذا بالاضافة الى استخدام الانتيمون فى صناعة الثقاب وفلكنة المطاط وصناعة البويات والادوية وخلافها . يأتى الانتيمون من معدن ستبنيت حيث يبلغ انتاج العالم من الخام ما يقرب من ٥٥ الف طن سنويا ،

يأتى معظمها من الصين وجنوب افريقيا والاتحاد السوفيتى وبولينيا والمكسيك ويوغسلافيا .

صناعة الفلزات الثمينة :

الذهب والفضة والبلاتين :

يستخدم الجزء الاكبر من الذهب كاحتياطى الذهب للعملات الورقية المتداولة فى دول العالم ، ويأخذ هذا الاحتياطى شكل العملات الذهبية وسبائك الذهب والتى تحفظها الحكومات المعنية فى خزائن تحت حراسة مكثفة . ويبلغ الذهب المخزون لهذا الغرض حوالى ثلاثين الف طن ، بينما يتراوح الذهب المتداول فى المصنوعات والمجوهرات ما بين ١٥ ، ٢٥ الف طن . ويكتسب الذهب المستخدم فى الحلى صلادة اعلى بخلطه بالنحاس والفضة والبلاديوم أو النيكل .

وللذهب عيار ينفرد به وهو ٢٤ ، ٢١ ، ١٨ ، ١٢ قيراط عندما يكون نقيا او به ٣ او ٦ أو ١٢ جزءا من فلز آخر على الترتيب ويستخرج الذهب من خام الذهب الذى هو عبارة عن معدن الذهب النطرى المنبث فى عروق المرو الحاملة له أو غيرها من الصخور .

تنتج كثير من الدول الذهب ولكن يعتبر جنوب افريقيا (حوالى ١٩ مليون اوقية) والاتحاد السوفيتى (١٢ مليون اوقية) وكندا (خمسة مليون اوقية) اكبر ثلاثة دول منتجة للذهب فى العالم .

كانت **الفضة** حتى عام ١٩٤٠ تستخدم فى صناعة العملة الفضية (ثلثا الانتاج العالم) . ودائما تخلط الفضة بالنحاس لتكتسب السبيكة صلادة وقوة تحمل . ومعيار الفضة فى انجلترا فى المصنوعات الفضية هو ٩٢٥ جزء فضه ، ٧٥ جزء نحاس . وفى الوقت الحاضر تعتبر صناعة التصوير اكبر مستهلك للفضة المنتجة عالميا . كما تستخدم الفضة فى انتاج بطاريات الفضة والزنك التى تستخدم كمصادر رئيسية للتوى فى نظم التحكم فى الاقمار الصناعية وغيرها من سفن الفضاء .

واهم معادن خام الفضة هو الارجنتيت ، ولو أن نصف انتاج العالم من الفضة يأتى كمنتج جانبى من معادن الرصاص والزنك والنحاس . يبلغ انتاج العالم السنوى من الفضة ما يقرب من ٢٠٠ مليون اوقية تأتى من دول كثيرة اهمها المكسيك والولايات المتحدة الامريكية وكندا والاتحاد السوفيتى وبيرو واستراليا واليابان وبولينيا والمغرب .

يستخدم **البلاتين** فى صناعة الحلى واغراض الاسنان والسبائك الكهربائية والصناعات الكيميائية . وتمتاز كل فلزات مجموعة البلاتين بثقلها (يعتبر البلاتين والاريديوم والازميوم اثقل ثلاثة فلزات معروفة : ٥ر٢١ ، ٤ر٢٢ ، ٥ر٢٢ على التوالى) **وعدم تأثرها بالاحماض ودرجات الانصهار** العالية ومقاومتها العالية للحرارة والتأكسد . نحصل على البلاتين من المعدن النظرى ومن معدن سبيريلايت ويبلغ انتاج العالم سنويا من البلاتين حوالى مليون ونصف المليون اوقية يأتى معظمها من جنوب افريقيا وكندا والاتحاد السوفيتى .

صناعة الفلزات النادرة :

الزرقونيوم : يعتبر الزرقونيوم من احسن الفلزات المستخدمة فى صناعة ارقى انواع الصلب والدروع والآلات السريعة والمحركات النفاثة والمصابيح الكهربائية وكثير غيرها .

يحصل العالم على الزرقونيوم باستخلاصه من معدن الزرقون الذى يوجد بوفرة فى الرمال السوداء بخليج بيرون باستراليا . كما يوجد فى رواسب مشابهة فى الولايات المتحدة الامريكية والبرازيل وجنوب افريقيا والهند .

التنتالوم والنيوبيوم :

يوجد هذا الفلزات معا فى الطبيعة فى معدنى متسلسلة الكولومبيت — التنتاليت . يستخدم الفلزان فى اغراض شتى مثل صناعة الانواع الراقية من الصلب والسبائك غير الحديدية والاقطاب الكهربائية فى مصابيح التفريغ وفى صناعة « ريش » التوربينات والصواريخ والاجهزة الكيميائية (التى لا تتأثر بالمواد الكيميائية) . وتصل صلادة كربيد التنتالوم وكربيد النيوبيوم الى مثل صلادة الالماس . يستعمل فلز التنتالوم فى الاغراض الجراحية لاصلاح بعض الاجزاء العظمية فى الانسان .

يستخرج هذا الفلزان من معادن الخام — الموجودة فى زائير ونيجيريا والبرازيل والنرويج . ويقرب الانتاج العالمى من ٦٠٠٠ طن سنويا .

صناعة الفلزات المشعة :

حتى الحرب العالمية الثانية لم يكن يستخرج **اليورانيوم** الا من قلة من رواسب الخام التى كانت معروفة حتى ذلك الوقت ، ولم يكن يتعدى الانتاج العالمى السنوى ٢٠٠ طن ، وكان هذا اليورانيوم يستخدم فى امداد العالم بفلز الراديوم الذى لم يكن يحتاج الا الى ١٠٠ جم منه (تكافىء ٤٥٠ طن

من اكســـيد اليورانيـوم تقريبـا) . وما أن تم إكتشاف خاصية الانشـطار النووى عـام ١٩٣٩ (انفجار ذرات اليورانيوم) حتى كان ذلك ايذانا بامكانية اطلاق « مارد » الطاقة الذرية من عقاله . وتستخدم الطاقة الذرية الآن فى الاغراض الحربية المدمرة وفى الاغراض المدنية ولو أنه فى كلتا الحالتين تبقى مشكلة التخلص من النفايات الذرية المشعة والملوثة لبيئة الانسان .

يحصل العالم على اليورانيوم من معادن كثيرة حاملة للفلز اهمهـا اكسيد اليورانيوم المعـروف باسـم يورانينيت وبتشبلند . يزيد احتياطى خام اليورانيوم فى العالم على الف مليـون طـن موزعة فى كنـدا والولايـات المتحدة الامريكية وزائير وجنوب افريقيا وبعض البلدان الاخرى .

يستخدم الثوريوم كمصدر للطاقة النووية ايضـا . كمـا يسـتخدم كمحفز فى تكرير النفط وفى صناعة فتائل المصابيح الكهربائية وفى عـديد من السبائك . ويعتبر المونازيت اهـم مصدر للثوريوم حيث يستخرج العـالم سنويا ما يقرب من خمسين الف طن من الخـام . يأتى اكثر من نصفهـا مـن الولايات المتحدة الامريكية بينمـا ينتج النصف الآخـر جنوب افريقيا والبرازيل والهنـد .

٢ — صناعة اشباه الموصلات

انتشرت اجهزة الاستقبال (الراديـو) التى استبدلت فيها الصمامات الكهربائية التقليدية (الحرارية الايونية) بمـا يعرف باسم الترانزستور كمـا انتشرت الآلات الحاسبة الاليكترونية (كومبيوتر) وامتـد استخدامهـا مـن عمليات الحساب العادية الى العمليات المعقدة التى تتحكم فى توجيه الاقمـار الصناعية ونزول رجال الفضاء على القمر . يرجع الفضل فى ذلك كله الى عنصرين من عناصر الارض احدهما السليكون والآخـر الجرمانيوم ، الاول من الفلزات الشائعة او قل انه اكثرها شيوعا فى تركيب مـادة الارض ، امـا الآخـر (الجرمانيوم) فهـو قليل الانتشـار او قل نادر الانتشـار . ان هذين العنصرين يتميزان بميزة طبيعية تعرف بخاصية شبه التوصيل للتيـار الكهربائى . ان الفلزات المعروفة من نحاس والومنيوم وغيرهما هى موصلات لانهـا توصـل التيـار عنـد درجات الحرارة العـادية فاذا سـخن النحاس او الالمنيوم فان توصيله للكهرباء يقـل . امـا اشباه الموصلات فانها لا توصل التيار الكهربائى عند درجات الحرارة العادية فاذا سخنت فانهـا تصبح جيدة التوصيل للكهرباء . من السليكون والجرمانيوم بعد معالجتهـا بلوريـا (بلورات) وكيميائيا (حقنها بالفسفور والالومنيوم وغيرها) تصنع اجهزة اليكترونية متعـددة نذكر منهـا :

١ — الترانزيستور المستخدم فى اجهزة الراديو والاستقبال والتحكم .
٢ — عاكسات التيار لامداد القاطرات الكهربائية « والاوناش » والطلاء بالكهرباء وشحن البطاريات بالتيار الكهربائى المستمر (دى ٠ سى) ٠
٣ — الآلات الحاسبة الاليكترونية .
٤ — الثيرميزتور المستخدم فى اجهزة القياس الدقيق لدرجات الحرارة .
٥ — اغراض التبريد والتجميد .
٦ — اجهزة الكشف عن الاشعة دون الحمراء والطاقة الحرارية المتولدة عنهـا .
٧ — الخلايا الضوئية لقياس الكميات الضئيلة من الضوء والكشف عنها .
٨ — اضاءة الفلورسنت وشاشات التليفيزيون والتصوير .
٩ — صناعات الليزر والضوء المكثف .

٣ — صناعة الخزف

تستخدم صناعة الخزف كثيرا من المعادن الشائعة والصخور وتتنوع المنتجات من الخزف الى الصينى الى الفخار وغيرها من المنتجات الخزفية . تحتاج هذه الصناعة الى الطين (الصلصال) والفلسبار والكوارتز . اما الطين فأجود انواعه هو الكاولين الذى يتكون من معدن الكاولينيت بصفة اساسية . وللطينات صفات تتوقف على الشوائب الموجودة بها والتى تؤثر على نوع الخزف والفخار المطلوب ، فقد تكون الطينة لدنة اذا كثر بها السليكا الغروية ، بينما يؤدى وجود اكاسيد الحديد والفلسبار الى خفض درجة الانصهار للطينة والى تلون الطينة اذا كثر بها الحديد . وفى الطينة البيضاء يجب الا تزيد نسبة الحديد عن واحد بالمئة . وبينما تساعد اكاسيد الجيرو المغنسيوم والقلويات على تخفيض درجة الانصهار الا انها تضر بعجينة الخزف حيث تسبب تكوين ما يشبه الكرات من الجير الحى فيها .

وبالاضافة الى الفلسبار والكاولين التى تنتجها كثير من الدول فأن هناك انواعا خاصة من الخزف يدخل فى صناعتها معادن البوكسيت والسليمانايت واليوراكس والماجنيزيت والفلوريت والباريت والزرتون وغيرها .

٤ — صناعة مواد الصنفرة

تتميز المعادن المستخدمة فى اغراض الصنفرة بصلادة عالية ولو انه فى السنوات الاخيرة تم تصنيع كثير من المواد الكيميائية عالية الصلادة الا ان الالماس هو اصلد المواد والمعادن المعروفة واعلى مواد الصنفرة درجة .

يعتبر الالماس والكوراندوم وخليط الكوارندوم والمجنيتسايت الطبيعي المعروف باسم اميرى والجارنت افضل مواد الصنفرة نوعا ودرجة . بينما تستخدم صخور الحجر الرملى والجريت وللحجر الخفاف والصخر الدياتومى (تريبوليت) على نطاق واسع كمواد صنفرة .

وتستخدم معادن وصخور الصنفرة على طبيعتها أو بعد تشكيلها على عيئة احجار الصنفرة أو مطحونة على عيئة مسحوق او فى احجام مختلفة .

وقد امكن تصنيع مركبات كيميائية مثل كربيد البورون وكربيد السليكون وهو ذو صلادة عالية وكذلك الكوراندوم الصناعى .

وتعتبر صناعة السيارات أكبر مستهلك لمواد المنفرة يليها صناعة الطائرات وكثير من الصناعات الفلزية من اجل الصقل والتشطيب .

ينتج العالم ما يقرب من خمسين الف طن من معادن المنفرة بينما ينتج مائة وخمسين الفه طن من مواد الصنفرة الصناعية ، هذا بالاضافة الى ما يقرب من سبعة ملايين طن من الحجر الخفاف .

٥ — صناعة الاحجار الكريمة

تستخدم المعادن فى صناعة الاحجار الكريمة اذا توافرت فيها صفات خمس .

١ — الجمال والرونق ، ٢ — التحمل (عدم التآكل) ، ٣ — الندرة ، ٤ — الذوق ، ٥ — سهولة الحمل .

وقد دخل سوق الاحجار الكريمة الطبيعية احجار صناعية او تشكيل للاحجار الكريمة الطبيعية بطرق صناعية لاكسابها خواص غير خواصها الاصلية .

الاحجار الكريمة الطبيعية : الالماس والزمرد والياقوت والسفير والابال الثمين وهذه كلها احجار غالية الثمن وهناك الاحجار الكريمة نصف الثمينة ومن امثلتها التوباز والفيروز والزبرجد والزرقون واليشم (جيد) والعقيق (جارنت) والاميثست وسبينيل وضبوديومين (الوردى والاخضر) والتورمالين واللابيرز لازولى وحجز التمز وحجر الشمس وحجر الامازون (هذه الثلاثة الاخيرة انواع من معادن الفلسبار) .

٦ — صناعة مواد البنــاء

تستخدم كثير من المواد المعدنية فى صناعة مواد البناء . فبالاضافة الى الصلب والحديد المستخدم فى المبانى هناك الاسمنت والخرسانة والطوب والمونة والعجائن المختلفة والزجاج والاسلاك وكثير غيرها كلها نحصل عليها من مــواد معدنية ، ســواء اكانت معادن أو صخور مشكلة أو مجهزة . يستخدم الزلط والرمل والجبس والجيز ومعادن الاصباغ والالوان والطين والمنتجات الطينية ومعادن عزل الصوت والحرارة بالاضافة الى معادن الفلزات المستخدمة فى صناعة الفلزات والتى سبق الحديث عنها . ولكل مــن المعادن والصخــــور المستخدمة فى صناعة مواد البنـــاء مواصفات خاصة لابــد من تحقيقها فى المواد المنتجة .

٧ — صــناعة الحــراريات

الحراريات مواد معدنية تتحمل درجات الحرارة العالية دون ان ينتابها تغير بالانصهار اذ بالتشقق أو غير ذلك ، ولذلك تستخدم فى تبطين افران صــهر الفلزات فيما يعرف باسم الطوب الحرارى ، كما تــستخدم فى تبطين الغلايات . وكثير من المواد الحرارية تتحمل درجات حرارة تتراوح بــين ١٤٩٠ ، ١٦٤٨ درجة مئوية . وهناك انواع من المعادن الحرارية (مجموعة معادن سليمانيت تحرق ليصنع منهــا الخزف الحرارى المستخدم فى صناعة شموع الاحــتراق والبوائق الكهربائية وبوائق المختبرات .

تستخدم معادن الزرقون والكروميت والدولوميــت والماجنزيته والسليكا والطين فى صناعة منتجات حرارية . كذلك تستخدم معادن الجرافيت والروتيـل والاوليفين والتلك والفيرميكوليت واكاسيد والثوريوم

٨ — صناعة الكيماويات

تدخل كثير من المعــادن غير الفلزية فى صناعة المواد الكيماوية . ومــن امثـلة هذه المعــادن : الملح والمحاليل الاجاجيــــة ، البوراكس ، معـــــادن كربونات الصوديوم (الطرونــا والنطــــرون) ، والكـــبريت ، معـــــادن الاسترنشيوم والليثيوم والبرومين والبوتاسيوم وكثير غيرها من المعادن التى التى تعتبر مصدرا لكثير من المركبات الكيميائية .

كما أن هناك بعض المعادن مثــل النتر يستخدم فى التسميد بينمــا تعالج صخور الفوسفات كيماويا لتحويلها الى السوبر فوسفات القابل للذوبــان فى المــاء والمستخدم فى عمليــة التسميد لامداد التربة بمركبات الفوسفور .

وعلى الرغم من ازدياد الاهمية بالنسبة للنترات المصنعة فان معــدن النتر الصودى الذى يوجــد فى شــيلى بكميات كبيرة (نترات الصودا الشــيلى) لايزال يمــد العالم بجزء كبير من الانتــاج العالمى للنترات . ويستخدم النترات اســاســا فى صناعة المخصبات النيتروجينية وبكميات اقل فى تصنيع المفرقعات ، وحمض النيتريك ، وغيره من الكيماويات . ومن النترات الشيلى يستخرج ١٠٠٠ طن من اليــود ، حوالى ٩٠ بالمائة من الانتــاج العالمى ، كمنتج اضــافى . ويســتخدم اليــود فى صناعة المواد المطهرة ، وفى كثير من الكيماويات ، وكمادة حساســة فى صناعة الافلام والالواح الفوتغرافية ، وفى الصباغة ودباغة الجلود ، وحفظ الطعام .

الجزء الثالث
جداول التعرف على المعادن

جدول (١)

المعادن مرتبة تبعا لازدياد الصلادة

الصلادة	الاسم	الصلادة	الاسم	الصلادة	الاسم
١	تلك	٢ـ٥ر٢	كلوريت	٣ـ٥ر٣	أسهيد ريت
١	كارنوتيت	٢ـ٥ر٢	مسكوفيت	٣ـ٥ر٣	باريت
١ ٠٠	هيماتيت ترابى	٢ـ٥ر٢	هاليت	٣ـ٥ر٣	سلستيت
١ـ٥ر١	موليبد ينيت	٢ـ٣	بوليبازيت	٣ـ٥ر٣	سيروسيت
١ـ٥ر	فيرميكوليت	٢ـ٣	سيرارجيريت	٣ـ٥ر٣	ويذ يريت
١ـ٢	جرافيت	٢ـ٤	كريزوكولا	٥ر٣ـ٤	أراجونيت
١ـ٢	كاولينيت	٥ر٢	جالينا	٥ر٣ـ٤	أزوريت
١ـ٢	بيروفيلليت	٥ر٢	كالكانثيت	٥ر٣ـ٤	ألونيت
١ـ٢	بيرولوسيت	٥ر٢	كبريت	٥ر٣ـ٤	بنتلانديت
١ـ٣	بوكسيت	٥ر٢	كريوليت	٥ر٣ـ٤	بيرومورفيت
٥ر١ـ٢	إريثريت	٥ر٢ـ٣	بورنونيت	٥ر٣ـ٤	دولوميت
٥ر١ـ٢	أوربمنت	٥ر٢ـ٣	بولانجيريت	٥ر٣ـ٤	سترونشيانيت
٥ر١ـ٢	فيفيانيت	٥ر٢ـ٣	بوليهاليت	٥ر٣ـ٤	ستلبيت
٥ر١ـ٢	كوتنليت	٥ر٢ـ٣	جلوبيريت	٥ر٣ـ٤	سفاليريت
٥ر١ـ٢	نترصودى	٥ر٢ـ٣	كالكوسيت	٥ر٣ـ٤	كالكوبيريت
٥ر١ـ٢	كبريت	٥ر٢ـ٣	كروكويت	٥ر٣ـ٤	كوبريت
٢	جبس	٥ر٢ـ٣	كريزوتيل	٥ر٣ـ٤	مانجانيت
٢	ميلانتريت	٥ر٢ـ٣	نحاس	٥ر٣ـ٤	ملاكيت
٢	نتر	٥ر٢ـ٤	ليبيدوليت	٥ر٣ـ٤	وافيلليت
٢ـ٥ر٢	إبسوميت	٣	كالسيت	٥ر٣ـ٥ر٤	رودوكروزيت
٢ـ٥ر٢	أرجنتيت	٣	أنجليزيت	٥ر٣ـ٥	مارجريت
٢ـ٥ر٢	أوتونيت	٣	إينارجيت	٥ر٣ـ٥	ماجنزيت
٢ـ٥ر٢	بروستيت	٣	بورنيت	٤	فلوريت
٢ـ٥ر٢	بوراكس	٣	ترونا	٤ـ٥ر٤	زنكيت
٢ـ٥ر٢	توربيرنيت	٣	جاروزيت	٤ـ٥ر٤	كولمانيت
٢ـ٥ر٢	سبيوليت	٣	فاناديت	٤ـ٥	كايانيت
٢ـ٥ر٢	سنبار	٣	ولفنيت	٥ر٤ـ٥	ابوفيلليت
٢ـ٥ر٢	سيلفيت	٣ـ٥ر٣	أتاكاميت	٥ر٤ـ٥	بكتوليت

تابع جدول (٤)

المعادن مرتبة تبعا لازدياد الصلادة

الصلادة	الاسم	الصلادة	الاسم	الصلادة	الاسم
٥ر٤—٥	شيليت	٥ر٥	ويلليميت	٦—٧	كلوريتويد
٥ر٤—٥	هيميمورفيت	٥ر٥	يورانينيت	٦—٧	كيانيت
٥ر٤—٥	ولاستونيت	٥ر٥—٦	أرسينوبيريت	٥ر٦	ايدوكريز
٥	أباتيت	٥ر٥—٦	المينيت	٥ر٦—٧	اكسينيت
٥	ثوريت	٥ر٥—٦	صودااليت	٥ر٦—٧	اندولوسيت
٥	سميثسونيت	٥ر٥—٥ر٦	رودونيت	٥ر٦—٧	أوليفين
٥—٥ر٥	جوتيت	٦	أرثوكليز	٥ر٦—٥ر٧	جارنت
٥—٥ر٥	داتوليت	٦	ألبيت	٧	كوارتز
٥—٥ر٥	مونازيت	٦	أمبليجونيت	٧	ديمورتيريت
٥—٥ر٥	هوسمانيت	٦	توركويز	٧—٥ر٧	تورمالين
٥—٥ر٥	ولفراميت	٦	فرانكلينيت	٧—٥ر٧	ستوروليت
٥—٥ر٥	لازوريت	٦	كولومبيت	٧—٥ر٧	كورديريت
٥—٥ر٥	لازوليت	٦	ميكروكلين	٥ر٧	زركون
٥—٥ر٥	سفين	٦	هيوميت	٥ر٧—٨	بيريل
٥—٦	اكتينوليت	٦—٥ر٦	بتاليت	٥ر٧—٨	فيناسيت
٥—٦	انثوفيلليت	٦—٥ر٦	بريهنيت	٨	توباز
٥—٦	انستاتيت	٦—٥ر٦	بيريت	٨	سبينل
٥—٦	أوبال	٦—٥ر٦	جلوكوفين	٨	لاوسونيت
٥—٦	أوجيت	٦—٥ر٦	روتيل	٥ر٨	كريزوبيريل
٥—٦	تريموليت	٦—٥ر٦	زويسيت	٩	كوراندم
٥—٦	ديوبسيد	٦—٥ر٦	كلينوزويسيت	١٠	الماس
٥—٦	سكابوليت	٦—٥ر٦	كوندروديت		
٥—٦	كانكرينيت	٦—٥ر٦	مركزيت		
٥—٦	نيفيلين	٦—٧	ابيدوت		
٥—٦	هورنبلند	٦—٧	دياسبور		
٥—٦	هيبرثين	٦—٧	سبودومين		
٥—٦	هيدنبرجيت	٦—٧	سيليمينيت		
٥ر٥	كروميت	٦—٧	كاسيتريت		

جدول (٢)

المعادن مرتبة تبعا لازدياد الوزن النوعي

الوزن النوعي	الاسم	الوزن النوعي	الاسم	الوزن النوعي	الاسم
٦ر١	كارناليت	٣٠ر٢	صودأليت	٦ر٢—٨ر٢	توركويز
٧ر١	بوراكس	٣ر٢	جرافيت	٧١ر٢	لابرادوريت
٧٥ر١	ابسوميت	٣٢ر٢	جبس	٦٥ر٢—٧٤ر٢	سكابوليت
٩٥ر١	كيرنيت	٣٣ر٢	وافيلليت	٧٢ر٢	كالسيت
٩٩ر١	سيلفيت	٣ر٢—٤ر٢	أبوفيلليت	٦ر٢—٩ر٢	كلوريت
		٣٩ر٢	بروسيت	٦٢ر٢—٧٦ر٢	بلاجيوكليز
٠ر٢—١٩ر٢				٦ر٢—٩ر٢	كوللوفين
٠ر٢—٥٥ر٢	بوكسيت	**٤ر٢—٥٩ر٢**		٧٤ر٢	بايتونيت
٠ر٢—٤ر٢	كريزوكولا	٠ر٢—٥٥ر٢	بوكسيت	٧ر٢—٨ر٢	بكتوليت
٠ر٢	سيبيوليت	٢ر٢—٦٥ر٢	سربنتين	٧ر٢—٨ر٢	تلك
٠٥ر٢—٠٩ر٢	كبريت	٤٢ر٢	كولمانيت	٧٠ر٢—٨٥ر٢	جلوبيريت
٠٥ر٢—١٥ر٢	كابازيت	٤٢ر٢	بتاليت	٧٦ر٢	أنورثيت
٩ر١—٢ر٢	أوبال	٤ر٢—٥٤ر٢	لازوريت	٧٥ر٢—٨ر٢	بيريل
٠٩ر٢—١٤ر٢	نتر	٤٥ر٢—٥٠ر٢	لوسيت	٧٨ر٢	بوليهاليت
١ر٢—٢ر٢	ستلبيت	٢ر٢—٨ر٢	جارنييريت	**٨ر٢—٩٩ر٢**	
١٦ر٢	هاليت	٥٤ر٢—٥٧ر٢	ميكروكلين		
١٢ر٢—٣٠ر٢	كالكانثيت	٥٧ر٢	أرثوكليز	٦ر٢—٩ر٢	كوللوفين
١٨ر٢—٢٠ر٢	هولنديت			٨ر٢—٩ر٢	بيروفيلليت
		٦ر٢—٧٩ر٢		٨ر٢—٩ر٢	ولاستونيت
٢ر٢—٢٦ر٢		٥٥ر٢—٦٥ر٢	نيفلين	٨٥ر٢	دولوميت
١٢ر٢—٣٠ر٢	كالكانثيت	٦ر٢—٦٣ر٢	كاولينيت	٨٦ر٢	فلوجوبيت
٠ر٢—٤ر٢	كريزوكولا	٦٢ر٢	ألبيت	٧٦ر٢—١ر٣	مسكوفيت
٢ر٢—٦٥ر٢	سربنتين	٦٠ر٢—٦٦ر٢	كورديريت	٨ر٢—٩٥ر٢	بريهنيت
٢٥ر٢	نطروليت	٥٨ر٢—٦٨ر٢	فيلياثيت	٨ر٢—٠ر٣	داتوليت
٢٦ر٢	تريديميت	٦٥ر٢	أوليجوكليز	٨ر٢—٠ر٣	ليبدوليت
٢٧ر٢	أنالسيت	٦٥ر٢	كوارتز	٨٩ر٢—٩٨ر٢	انهيدريت
٢٩ر٢	نترصودى	٦٩ر٢	انديسين	٩٥ر٢	أراجونيت
٣٠ر٢	كريستوباليت	٦ر٢—٨ر٢	ألونيت	٩٥ر٢	اريثريت

تابع جدول (٢)

المعادن مرتبة تبعا لازدياد الوزن النوعى

الوزن النوعى	الاســـم	الوزن النوعى	الاســـم	الوزن النوعى	الاســـم
٢ر٨—٣ر٢	بيوتيت	٣ر٢٧—٤ر٣٧	أوليفين	٣ر٧	سترونشيانيت
٢ر٩٥—٣ر٠	كريوليت	٣ر٢—٣ر٥	انستاتيت	٣ر٦٥—٣ر٨	كريزوبيريل
٢ر٩٧—٣ر٠٠	فيناسيت			٣ر٧٥—٣ر٧٧	أتاكاميت
		٣ر٤—٣ر٥٩			
				٣ر٧٧	أزوريت
٣ر٠—٣ر١٩					
		٣ر٢٧—٤ر٢٧	أوليفين		
				٣ر٨—٣ر٩٩	
٢ر٨٥—٣ر٢	أنثوفيلليت	٣ر٣—٣ر٥	جديت		
٣ر٠—٣ر١	أمبليجونيت	٣ر٣٥—٣ر٤٥	دياسبور	٣ر٧—٤ر٧	بسيلوميلين
٣ر٠—٣ر١	لازوليت	٣ر٣٥—٣ر٤٥	ابيدوت	٣ر٦—٤ر٠	سبينيل
٣ر٠—٣ر٢	ماجنيزيت	٣ر٣٥—٣ر٤٥	ايدوكريز	٣ر٦—٤ر٠	ليمونيت
٣ر٠—٣ر١	مارجريت	٣ر٤—٣ر٥	هيميمورفيت	٣ر٨٣—٣ر٨٨	سيد يريت
٣ر٠—٣ر٢٥	تورمالين	٣ر٤٥	ارتيد سونيت	٣ر٥—٤ر٢	ألانيت
٣ر٠—٣ر٢	تريموليت	٣ر٤٠—٣ر٥٥	ايجيريت	٣ر٥—٤ر٣	جارنت
٣ر٠٩	لاوسونيت	٣ر٤—٣ر٥٥	سفين	٣ر٩	أنتليريت
٣ر١—٣ر٢	أوتونيت	٣ر٤٨	ريالجار	٣ر٩—٤ر٠٣	ملاكيت
[illegible]—٣ر٢	كوند رود يت	٣ر٤٩	أوربمنت	٣ر٩٥—٣ر٩٧	سلستيت
٣ر١٥—٣ر٢٠	أباتيت	٣ر٤—٣ر٦	توباز		
				٤ر٠—٤ر١٩	
٣ر١٥—٣ر٢٠	سبود يومين	٣ر٥	الماس		
٣ر١٦—٣ر٢٠	أند لوسيت	٣ر٤٥—٣ر٦٠	رودوكروزيت	٤ر١—٤ر٣	كالكوبيريت
٣ر١٨	فلوريت	٣ر٥—٤ر٣	جارنت	٣ر٧—٤ر٧	بسيلوميلين
				٤ر١٨—٤ر٢٥	روتيل
٣ر٢—٣ر٣٩		**٣ر٦—٣ر٧٩**			
				٤ر٣	مانجانيت
٣ر٢	هورنبلند	٣ر٢٧—٤ر٣٧	أوليفين	٤ر٣	ويذيريت
٣ر٢٣	سيليمنيت	٣ر٥—٤ر٢	ألانيت	٤ر٣٧	جوتيت
٣ر٢—٣ر٣	د يوبسيد	٣ر٥—٤ر٣	جارنت	٤ر٣٥—٤ر٤٠	سميثسونيت
٣ر٢—٣ر٤	أوجيت	٣ر٦—٤ر٠	سبينيل		
				٤ر٤—٤ر٥٩	
٣ر٢٥—٣ر٣٧	كلينوزويسيت	٣ر٥٦—٣ر٦٦	كيانيت		
٣ر٢٦—٣ر٣٦	د يمورتيريت	٣ر٥٨—٣ر٧٠	رود ونيت	٤ر٤٣—٤ر٤٥	اينارجيت
٣ر٢٧—٣ر٣٥	أكسينيت	٣ر٦٥—٣ر٧٥	ستوروليت	٤ر٥	باريت

تابع جدول (٢)

المعادن مرتبة تبعا لازدياد الوزن النوعي

الوزن النوعي	الاسم	الوزن النوعي	الاسم	الوزن النوعي	الاسم
٤ر٥٢ـ٤ر٦٢	ستبنيت			٦ر٥٥	سيروسيت
		٥ر٤ـ٥ر٥٩			
				٦ر٧٨	بزموثينيت
٤ر٦ـ٤ر٧٩					
		٥ر٥	ميليريت	٦ر٥ـ٧ر١	بيرومورفيت
٣ر٧ـ٤ر٧	بسيلوميلين	٥ر٥	سبرارجيريت	٦ر٨	ولفينيت
٤ر٦	كروميت	٥ر٥٥	بروستيت	٦ر٧ـ٧ر١	فناديتيت
٤ر٥٨ـ٤ر٦٥	بيروتيت			٦ر٨ـ٧ر١	كاسيتريت
		٥ر٦ـ٥ر٧٩			
٤ر٧٠	المينيت				
				٧ر٠ـ٧ر٤٩	
٤ر٧٥	بيرولوسيت	٥ر٥ـ٥ر٨	كالكوسيت		
٤ر٦ـ٤ر٧٦	كوفيلليت	٥ر٦٨	زنكيت	٧ر٠ـ٧ر٢	ميميتيت
٤ر٦٢ـ٤ر٧٣	موليبدينيت	٥ر٥ـ٦ر٠	جيمسونيت	٧ر٠ـ٧ر٥	ولفراميت
٤ر٦٨	زركون	٥ر٣ـ٧ر٣	كوليمبيت	٧ر٣	أرجنتيت
٤ر٨ـ٤ر٩٩		**٥ر٨ـ٥ر٩٩**		**٧ر٥ـ٧ر٩٩**	
٤ر٦ـ٥	بنتلانديت	٥ر٨ـ٥ر٩	بورنونيت	٧ر٤ـ٧ر٦	جالينا
٤ر٦ـ٥ر١	تتراهيدريت	٥ر٨٥	بيرارجيريت	٧ر٣ـ٧ر٩	الحديد
	تانتيت			٧ر٧٨	نيكوليت
		٦ر٠ـ٦ر٤٩			
٤ر٨٩	مركزيت				
				> ٨ر٠	
٤ر٩٠	جريتوكيت	٥ر٩ـ٦ر١	كروكويت		
		٥ر٩ـ٦ر١	شيليت	٨ر٠ـ٨ر٢	سيلفانيت
٥ـ٥ر١٩					
		٦ر٠	كوبريت	٨ر١٠	سنبار
٥ر٠٢	بيريت	٦ر٠٧	أرسينوبيريت	٨ر٩	النحاس
٤ر٨ـ٥ر٣	هيماتيت	٦ر٠ـ٦ر٢	بوليبازيت	٩ر٠ـ٩ر٧	يورانينيت
٥ر٠٦ـ٥ر٠٨	بورنيت	٦ر٢ـ٦ر٣	ستيفانيت	٩ر٣٥	كالافيريت
٥ر١٥	فرانكلينيت	٦ر٢ـ٦ر٤	أنجليزيت	٩ر٨	بزموت
٥ر٠ـ٥ر٣	مونازيت	٥ر٣ـ٧ر٣	كولومبيت	١٠ر٥	الفضة
٥ر١٨	ماجنتيت	٦ر٣٣	كوبالتيت	١٥ر٠ـ١٩ر٣	الذهب
				١٤ـ١٩	البلاتين
٥ر٢ـ٥ر٣٩		**٦ر٥ـ٦ر٩٩**			

مجموعة جداول رقم (٣)

للتعرف على المعادن

المواد المستعملة : ١ — لوحة مخدش لإختبار الخدش ،

٢ — عدسة صغيرة لإختبار الانفصام ،

٣ — قطعه كالسيت (أو قرش أحمر) : صلادة ٣ ، سكين صغيرة (مطوة) : صلادة ½ ٥ ، قطعة زجاج (أو كوارتز) : صلادة ٧ ، لاختبار الصلادة .

الرموز المستعملة فى الجداول : الصلادة = ص . الوزن النوعى = و .

طريقه إستعمال الجداول :

(١) إختبر بريق المعدن : فلزى أو لافلزى .

(٢) إذا كان البريق فلزيا : عين الصلادة ، واستعمل جداول (١)،(٢)، (٣) فى قسم البريق فلزى .

(٣) إذا كان البريق لافلزيا : عين المخدش ، فإما أن يكون ملونا، جدول (١) فى قسم : البريق لا فلزى ، أو عديم اللون ، جدول (١) فى قسم : البريق لا فلزى . فى هذه الحالة إختبر الصلادة ، واستعمل جداول أ ، ب ، جـ ، د ، هـ .

تصنيف الجداول

البريق فلزى

(١) الصلادة ، أقل من ½ ٢ (يترك أثراً على الورقة) ، صفحة ٤٣٩ .

(٢) الصلادة : بين ½ ٢ ، ½ ٥ (تخدش بنصل السكين ، ولا تترك أثراً على الورق) ، صفحة ٤٤٠ .

(٣) الصلادة : أعلا من ½ ٥ (لا تخدش بنصل السكين) صفحة ٤٤٢ .

البريق : لافلزي

(١) المخدش ملون ، صفحة ٤٤٤ — ٤٤٦ .

(٢) المخدش عديم اللون :

(ا) الصلادة : أقل من ٢½ (تخدش بالظفر) صفحة ٤٤٧ - ٤٤٨ .

(ب) الصلادة : بين ٢½ ، ٣½ (لا تخدش بالظفر ولكن تخدش بقرش أحمر) .

١ - الانفصام ظاهر ، صفحة ٤٤٩ - ٤٥٠ .

٢ - الانفصام غير ظاهر ، صفحة ٤٥٠ — ٤٥١ .

(حـ) الصلادة : بين ٣½ ، ٥½ (لا تخدش بالقرش الاحمر ولكن تخدش بالسكين) .

١ - الانفصام ظاهر ، صفحة ٤٥٢ - ٤٥٤ .

٢ - الانفصام غير ظاهر ، صفحة ٤٥٥ - ٤٥٦ .

(د) الصلادة : ٥½ — ٧ (لا تخدش بالسكين ، ولكن تخدش بالكوارتز)

١ - الانفصام ظاهر ، صفحة ٤٥٧ - ٤٥٨

٢ — الانفصام غير ظاهر ، صفحة ٤٥٨ - ٤٥٩ .

(هـ) الصلادة : اعلى من ٧ (لا تخدش بالكوارتز) .

١ - الانفصام ظاهر ، صفحة ٤٦٠ .

٢ - الانفصام غير ظاهر ، صفحة ٤٦٠ - ٤٦١ .

البريق : فلزى

(١) الصلادة أقل من ٢ $\frac{1}{2}$ (يترك أثرا على الورق.)

المخدش	اللـــون	ص	و	ملاحظـــات	الاسم ، الفصيلة
أســود	أســود كالحديد	١ ـ ٢	٤ر٧	يوجد عادة فى مجموعات لبلورات الياقية شعاعية أو بلورات حادة الزوايا .	بيرولوسيت MnO_2 الرباعى
	أســود	١ ـ ١ر٥	٢ر٢	إنفصام قاعدى كامل {٠٠٠١} الملمس شحمى	جرافيت C السداسى
أســود أو أسود مائل للخضرة	أســود مــائل للزرقة	١ ـ ١ر٥	٤ر٧	إنفصام قاعدى كامل {٠٠٠١} مخدش أسود مائل للخضرة على الخزف المصقول (الجرافيت أسود)	موليبدينيت MoS_2 السداسى
أســود رمادى	أســود	٢ر٥	٧ر٦	إنفصام مكعبى كامل {٠٠١} البلورات منحنية . كتل حبيبية . ثقيل .	جالينا PbS المكعب
	أســود	٢	٤ر٥	إنفصام مسطوحى كامل {٠١٠} بلورات نصلية . تخطيط مستعرض . ينصهر فى لهب الشمعة	ستبنيت Sb_2S_3 المعينى القائم
أحمر زاهى	أحمــر	٢ ـ ٢ر٥	٨ر١	إنفصام منشورى كامل {١٠١̄٠} البريق الماسى ، عادة كتل حبيبية .	سنبار HgS الثلاثى
بنى أحمــر	أحمــر	١ +	٥ر٢	ترابى . الهيماتيت المتبلور أعلى صلادة .	هيماتيت Fe_2O_3 الثلاثى
أســود	أســود رمادى	٢ ـ ٢ر٥	٧ر٣	كتلى أو ترابى . ثقيل . قابل للتقشير . السطوح المكشوفة سوداء .	أرجنتيت Ag_2S المكعب

البريق : فلزى

(تابع ١) الصلادة أقل من ٥ر٢ (يترك أثراً على الورق)

المخدش	اللون	ص	و	ملاحظـــــــات	الاسم ، الفصيلة
أسود	أزرق نيلى .	٥ر١–٢	٦ر٤	عادة فى كتل صفحية . اذا بلل بالماء يصير أرجـــــوانى اللـــون .	كوفيلليت CuS السداسى

البريق : فلزى

(٢) الصلادة > ٥ر٢ و < ٥ر٥

(يمكن خدشه بنصل المبـــراة أو السكين)

المخدش	اللون	ص	و	ملاحظـــــــات	الاسم ، الفصيلة
أســـود	أسود رمادى .	٣–٥ر٤	٧ر٤ الى ٠ر٥ .	كتلى أو بلورات رباعيات الاوجه . يصاحب عادة خـــامات الفضـــة .	تتراهيدريت $(Cu,Zn)_{12}Sb_4S_{13}$ المكعب
أســـود رمادى	أســود .	٥ر٢–٣	٧ر٥	كتلى ، قابل للتقشير بعض الشئ . يصاحب معـــادن النحاس .	كالكوسيت Cu_2S المعينى القائم
أســـود	أسود رمادى .	٣	٤ر٤ .	إنفصام منشورى {٠١١} عادة فى هيئة نصلية . يصاحب معادن النحاس .	إينارجيت Cu_3AsS_4 المعينى القائم
أســـود	برونزى يصدأ الى أرجوانى .	٣	١ر٥	كتلى . يصاحب معادن النحاس مثل كالكوسيت وكالكوبيريت .	بورنيت Cu_5FeS_4 المكعب
أســـود	برونزى .	٤	٦ر٤	القطع الصغيرة مغناطيسية كتلى . يصاحب عادة بيريت وكالكوبيريت .	بيروتيت $Fe_{1-x}S$ السداسى

البريق : فلزي

(تابع ٢) الصلادة > ٥ر٢ و < ٥ر٥

المخدش	اللون	ص	و	ملاحظات	الاسم والفصيلة
أسود	أصفر نحاسي	٥ر٣–٤	١ر٤–٣ر٤	كتلي . يصاحب معادن النحاس	كالكوبيريت $CuFeS_2$ الرباعي
.	أسود	٤	٣ر٤	كتل متبلورة إبرية شعاعية . بلورات منشورية في حزم . يصاحب عادة بيرولوسيت .	مانجانيت $MnO(OH)$ المعيني القائم
بني داكن إلى أسود	أسود أو أسود بني	٥ر٥	٦ر٤	البريق مثل القار . كتل حبيبية موجود في البيريدوتيت أو السربنتين .	كروميت $FeCr_2O_4$ المكعب
	بني ، أو أسود .	٥–٥ر٥	٧ر٠ إلى ٥ر٧	إنفصام جانبي {٠١٠} كامل . ثقيل .	ولفراميت $(Fe,Mn)WO_4$ الميل الواحد
أسود	أسود .	٥–٦	٢ر٣ إلى ٧ر٤	كتل عنقودية أو استلاكتيتية . يصاحب عادة بيرولوسيت	بسيلوميلين أكسيد مائي للمنجنيز
	بني داكن .	٥ر٥–٥ر٦	٨ر٤ إلى ٣ر٥	عادة أصلد من السكين . . كتلي ، شعاعي ، عنقودي ، كلوي ، ميكاشي .	هيماتيت Fe_2O_3 الثلاثي
بني أحمر أو أحمر	بني أحمر أو أحمر داكن	٥ر٣–٤	٦	كتلي أو مكعبات . يصاحب عادة ملاكيت وأزوريت والنحاس المتصري .	كوبريت Cu_2O المكعب
أحمر	أحمر نحاسي على السطح الحديث	٥ر٢–٣	٩ر٨	قابل للطرق . حبيبات غير منتظمة أو مجموعات بلورات متفرعة . ثقيل .	نحاس Cu المكعب

البريق : فلزي

(تابع ٢) ــ الصلادة > ٥ر٢ و < ٥ر٥

المخدش	اللون	ص	و	ملاحظات	الاسم والفصيلة
أبيض فضي لامع .	أبيض فضي على سطح غير صدىء	٥ر٢ــ٣	٥ر١٠	قابل للطرق . حبيبات غير منتظمة . أسلاك أو صفائح أو مجموعات بلورات متفرعة . ثقيل .	فضة Ag المكعب
أصفر ذهبي لامع .	أصفر ذهبي .	٥ر٢ــ٣	٠ر١٥ الى ٣ر١٩	قابل للطرق . حبيبات غير منتظمة أو أوراق . ثقيل جدا .	ذهب Au المكعب

البريق : فلزي

(٣) الصلادة ٥ر٥ (لا يخدشه نصل السكين)

المخدش	اللون	ص	و	ملاحظات	الاسم والفصيلة
أسود	أبيض فضي .	٥ر٥ــ٦	٠ر٦ الى ٢ر٦	عادة كتل . ثقيل .	أرسينوبيريت FeAsS الميل الواحد
	أبيض مائل للاحمرار .	٥ــ٥ر٥	٥ر٧	عادة كتل . قد يكون مغطى بطبقة خضراء (تحتوى على النيكل) . ثقيل .	نيكوليت NiAs السداسي
	أصفر نحاسي باهت .	٦ــ٥ر٦	٠ر٥	أشكال بلورية اثنا عشر وجها مزدوجا (بيريتوهيدرون) . كتل حبيبية . كبريتيد شائع.	بيريت FeS_2 المكعب
	أصفر باهت أو أبيض تقريبا .	٦ــ٥ر٦	٩ر٤	مجموعات بلورات أليافية شعاعية .	مركزيت FeS_2 المعيني القائم

البريق : فلزي

(تابع ٣) – الصلادة > ٥ر٥ (لا يخدشه نصل السكين)

المخدش	اللون	ص	و	ملاحظات	الاسم ، الفصيلة
أسود	أسود	٦	١٨ر٥	مغناطيسي قوي . البلورات ثمانية الأوجه .	ماجنتيت Fe_3O_4 المكعب
بني داكن أو أسود	أسود	٥ر٥–٦	٤ر٧	قد يكون مغناطيسيا ضعيفا . كتل حبيبية ، بلورات مسطحة . رمال . يصاحب ماجنتيت .	إلمنيت $FeTiO_3$ الثلاثي
		٥–٦	٣ر٧ إلى ٤ر٧	كتل متماسكة ، استلاكتيتية ، عنقودية . صلادته أعلى من معادن المنجنيز المصاحبة له .	بسيلوميلين BaMn(OH) oxide بيدو عديم التبلور
		٦	٥ر٣ إلى ٣ر٧	البريق أسود لامع على السطوح الحديثة . لون الصدأ يميل إلى الزرقة . حبيبات أو بلورات .	كولومبيت – تانتاليت المعيني القائم
بني داكن	بني أو أسود	٥ر٥	٦ر٤	البريق مثل القار . كتل حبيبية موجود في البيريدوتيت أو السربنتين .	كروميت $FeCr_2O_4$ المكعب
بني أحمر	بني داكن أو أسود	٥ر٥–٥ر٦	٨ر٤ إلى ٥ر٣	شعاعي ، عنقودي ، كتلي ، قشري . بعض الأنواع أقل صلادة .	هيماتيت Fe_2O_3 الثلاثي
بني باهت	بني إلى أسود	٦–٥ر٦	١٨ر٤ إلى ٢٥ر٤	بلورات منشورية مخططة رأسيا . ألياف . يوجد في الرمال السوداء .	روتيل TiO_2 الرباعي

البريق : لا فلزى

(١) المخدش ملـــون

المخدش	اللون	ص	و	ملاحظات	الاسم والفصيلة
أحمر قاتم	أحمر قاتم أو فاقع .	٢٫٥	٨٫١٠	إنفصام منشورى ، حبيبى أو ترابى ، نصف شفاف للنقى ، ثقيل .	سنبار HgS الثلاثى
	بنى أحمر أو أحمر ياقوتى .	٣٫٥–٤	٦٫٠	كتلى أو مكعبات أو ثمانى الأوجه ، يصاحب عادة ملاكيت ، أزوريت ، نحاس عنصرى .	كوبريت Cu_2O المكعب
بنى أحمـــر	بنى داكن أو أسود .	٥٫٥ – ٦٫٥	٤٫٨ الى ٥٫٣	شعاعى ، كلوى ، كتلى ، قشرى ، بعض الانواع أقل صلادة .	هيماتيت Fe_2O_3 الثلاثى
بنى أصفر أو مغـرة صـفراء	بنى داكن أو أسود .	٥–٥٫٥	٣٫٦ إلى ٤٫٠	عادة صلد ، ذو بريق زجاجى يحتوى عادة على ماء أكثر من جوتيت .	ليمونيت $FeO(OH).nH_2O$ (عديم التبلور)
	بنى داكن أو أسود .	٥–٥٫٥	٤٫٤	إنفصام سطوحى جانبى ، مجموعات بلورات شعاعية ، كروية ، ستلاكتيتية ، فلزى عادة .	جوتيت $HFeO_2$ المعينى القائم
بنى	بنى داكن	٥–٥٫٥	٧٫٠ الى ٧٫٥	إنفصام سطوحى جانبى ، المخدش أقتم فى العينات الغنية بالمنجنيز .	ولفراميت $(Fe,Mn)WO_4$ الميل الواحد
	بنى فاتح أو داكن .	٣٫٥–٤	٣٫٨٣ إلى ٣٫٨٨	كتل منضغطة معينية الاوجه ، يكتسب مغناطيسية بعد تسخينه فى لهب الشمعة .	سيدريت $FeCO_3$ الثلاثى

البريق : لا فلزي

(تابع ١) المخـــدش ملـــون

المخدش	اللون	ص	و	ملاحظـــات	الاسم ، الفصيلة
بني فاتـــح	بني فاتح أو داكن	٥ر٣–٤	٩ر٣ إلى ١ر٤	إنفصام اثنا عشر وجها {٠١١} كامل • بريق زجاجي، نصف فلزي، الماسي • يقتم اللون بازدياد الحديد	سفاليريت ZnS المكعب
	بني أو أســود	٦–٧	٨ر٦ إلى ١ر٧	بلورات توأمية • أليافي، كلوي، غير منتظم، حبيبات • ثقيل •	كاسيتريت SnO_2 الرباعي
	بني أحمر أو أسود	٦–٥ر٦	١٨ر٤ إلى ٢٥ر٤	بلورات إبرية • البلورات مخططة طوليا • التوائم شائعة •	روتيل TiO_2 الرباعي
أصـــفر برتقالي	أحمر قاني أو أصفر برتقالي	٤–٥ر٤	٦٨ر٥	إنفصام قاعدي {١٠٠٠} • يصاحب فرانكلينيت وويلليميت في بعض العينات •	زنكيت ZnO السداسي
	أحـــمر قاني	٥ر١–٢	٤٨ر٣	ترابي عادة • يصاحب أوربمنت • ينصهر في لهب الشمعة •	ريالجار AsS الميل الواحد
أصـــفر باهـــت	أصـــفر ليموني	٥ر١–٢	٤٩ر٣	إنفصام سطوحي جانبي • البريق راتنجي • يصاحب ريالجار ينصهر في لهب الشمعة •	أوربمنت As_2S_3 الميل الواحد
	أصـــفر باهت	٥ر١ – ٥ر٢	٠٥ر٢ إلى ٠٩ر٢	يحترق بلهب أزرق ويعطي رائحة SO_2 • يسمع طقطقة اذا مسكت كتلة منه باليد •	كبريت المعيني القائم

البريق : لا فلزى

(تابع ١) المخد شرطـــون

المخد ش	اللون	ص	و	ملاحظـــــات	الاسم ، التفصيلة
أخضر فاتح	أخضر زمردى داكن .	٣ــ٣٫٥	٣٫٧٥ الى ٣٫٧٧	إنفصام كامل جانبى . كتل حبيبية متضمة أو بلورات منشورية صغيرة .	أتاكاميت $Cu_2Cl(OH)_3$ المعينى القائم
	أخضر ناصع .	٣٫٥ــ٤	٣٫٩ الى ٤٫٠٣	كتل أليافية شعاعية أو كروية . يصاحب أزوريت . يتفاعل مع حامض HCl .	ملاكيت $Cu_2CO_3(OH)_2$ الميل الواحد
أزرق فاتح	أزرق	٣٫٥ــ٤	٣٫٧٧	بلورات صغيرة . عادة مجموعات أليافية شعاعية . يتفاعل مع HCl البارد	أزوريت $Cu(CO_3)_2(OH)_2$ الميل الواحد
	قاتم كالزهرة .	٢٫٥	٢٫١٢ الى ٢٫٣٠	يذوب فى الماء . المذاق فلزى . بلورات ، كتلى ، استلاكتيتى .	كالكانثيت $CuSO_4.5H_2O$ الميول الثلاثة
أزرق فاتح جدا	أخضر فاتح أو فيروزى .	٢ــ٤	٢٫٠ الى ٤٫٠	كتل متماسكة . يصاحب معادن النحاس الاكسيدية .	كريزوكولا $CuSiO_3.nH_2O$ غير موكسيد

البريق : لا فلزي

(٢) الخدش عديم اللون

(أ) الصلادة > ٥ر٢ (يمكن خدشه بالظفر)

الانفصام	اللون	ص	و	ملاحظات	الاسم والفصيلة
إنفصام كامل في اتجاه واحد	بني باهت، أخضر، أبيض .	٢–٥ر٢	٧٦ر٢ إلى ٠ر٣	كتل صفائحية . قشور . الصفائح مرنة . النوع الشائع من الميكا .	مسكوفيت $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ الميل الواحد
	بني داكن عادة .	٥ر٢–٣	٩٥ر٢ إلى	كتل صفحية غير منتظمة . الصفائح مرنة .	بيوتيت $K(Mg,Fe)_2-(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ الميل الواحد .
	بني ، أصفر .	٥ر٢–٣	٨٦ر٢	كتل صفحية غير منتظمة . يوجد في الرخام .	فلوجوبيت $KMg_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ الميل الواحد
	ظلال خضراء مختلفة .	٢–٥ر٢	٦ر٢ إلى ٩ر٢	كتل صفحية غير منتظمة . قشور دقيقة متماسكة . الصفائح تنثني وليست مرنة .	كلوريت الميل الواحد
	أبيض ، أخضر تفاحي .	١	٧ر٢ إلى ٨ر٢	ملمس شحمي . صفائحي . بيروفيلليت يشبهه ولكنه يحتوي على الالومنيوم .	تلك $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$ الميل الواحد
	أبيض ، رمادي ، أخضر .	٥ر٢	٣٩ر٢	البريق لؤلؤي على أوجه الانفصام وزجاجي على الأوجه الاخرى . قابل للتقشير . تنثني القشور .	بروسيت $Mg(OH)_2$ الثلاثي
{٠١٠} كامل، إنفصامين آخرين .	عديم اللون، أبيض .	٢	٣٢ر٢	بلورات أو قطع متشعبة عريضة . كتلي أو أليافي (بريق حريري)	جبس $CaSO_4.2H_2O$ الميل الواحد

البريق : لا فلزى

(٢) المخدش عديم اللون

(تابعاً) الصلادة < ٢٫٥ (يمكن خدشه بالظفر)

الانفصام	اللون	ص	و	ملاحظات	الاسم، الفصيلة
إنفصام {١٠١١} ضعيف	عديم اللون أو أبيض .	١–٢	٢٫٢٩	يوجد في قشور ملحية . يذوب في الماء . ينصهر في لهب الشمعة .	نترصودى $NaNO_3$ الثلاثي
المكسر ترابي	أبيض أو أغمق قليلا .	٢–٢٫٥	٢٫٦ إلى ٢٫٦٣	متماسك ويشبه الطين . يعطي رائحة الطين بالتنفس فيه . يلتصق باللسان .	كاولينيت $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$ الميل الواحد
	لؤلؤي، أو رمادي، ثم يسود .	٢–٣	٥٫٥ ±	قابل للتقشير . كتل غير منتظمة .	سيرارجيريت AgCl المكعب
المكسر خشن	أصفر باهت .	١٫٥ – ٢٫٥	٢٫٠٥ إلى ٢٫٠٩	يحترق بلهب أزرق ويعطي رائحة SO_2 . يسمع طقطقة اذا مسكت كتلة منه باليد	كبريت S المعيني القائم
	أصفر، بني، رمادي .	١–٣	٢٫٠ إلى ٢٫٥٥	حبيبات مستديرة . ترابي أو يشبه الطين . عادة أصلد من ٢٫٥	(بوكسيت) مخلوط إيدروكسيدات الالومنيوم
المكسر خشن	أخضر تفاحي، أو أبيض .	٢–٣	٢٫٢ إلى ٢٫٨	قشور وكتل ترابية .	جارنييريت سليكات نيكل مائية غير متبلور

البريق : لا فلزي

(٢) المخدش عديم اللون

(ب) الصلادة > ٥ر٢ و < ٥ر٣ (لا يخدش بالظفر ولكن يخدش بقرش أحمر)

١- الانفصام ظاهر

الانفصام	اللون	ص	و	ملاحظـــــات	الاسم ، الفصيلة
{١٠٠} اتجاه واحد	وردي باهت أو أبيض .	٥ر٢–٤	٨ر٢ إلى ٠ر٣	صفائح صغيرة غير منتظمة . يوجد في البجماتيت مع التورمالين الملون .	ليبيدوليت الميل الواحد
{١٠٠} اتجاه واحد	وردي باهت أو أبيض .	٥ر٣–٥	٠ر٣ إلى ١ر٣	كتل صفائحية غير منتظمة . الصفائح قابلة للكسر . يصاحب الإميري .	مارجريت الميل الواحد
{٠١٠} اتجاه واحد	عديم اللون أو أبيض .	٥ر٢	٣ر٤	كتل ذات هيئة شعاعية . يتفاعل مع الحامض البارد .	ويذيريت $BaCO_3$ المعيني القائم
{١٠٠} ، {٠٠١} ، اتجاهين	عديم اللون أو أبيض .	٣	٩٥ر١	يوجد في مجموعات متبلورة منفصـــلة .	كيرنيت $Na_2B_4O_7.4H_2O$ الميل الواحد
{٠٠١} مكعبي ٣ اتجاهات	عديم اللون أبيض ، أحمر .	٥ر٢	١ر٢ إلى ٣ر٢	ملح الطعام . يذوب في الماء . المذاق ملحي . ينصهر في لهب الشمعة . مكعبات .	هاليت $NaCl$ المكعب
{١٠٠} {٠١٠} {٠٠١}	عديم اللون أبيض ، رمادي .	٥ر٢ – ٣	٨٩ر٢ إلى ٩٨ر٢	كتل دقيقة الحبيبات لا تظهر الانفصام . يميز بالاختبـــار الكيميائي .	أنهيدريت $CaSO_4$ المعيني القائم
معيني الأوجه ٣ اتجاهات {١٠١١}	عديم اللون أبيض .	٣	٧٢ر٢	يتفاعل مع الحامض البارد . يوجد في كتل مثل الحجر الجيري . انكسار مزدوج في النوع الشفاف .	كالسيت $CaCO_3$ ثلاثي

البريق : لا فلزي

(أ) المخدش عديم اللـــون

(ب) الصلادة > ٢٫٥ ، < ٣٫٥ (لا يخدش بالظفر ولكن يخدش بقرش أحمر)

(تابع ١) الانفصام ظاهر

الانفصام	اللون	ص	و	ملاحظـــــات	الاسم ، الفصيلة
معيني الاوجه {١٠١٠} ٣ اتجاهات		٣٫٥—٤	٢٫٨٥	عادة أصلد من العملة النحاسية . البريق لؤلؤي . كتل خشنة الحبيبات . يتفاعل المسحوق مع HCl	دولوميت $CaMg(CO_3)_2$ الثلاثي
٣ اتجاهات قاعـــدي {١٠٠} عمودي على منشوري {٠١١}		٣—٣٫٥	٤٫٥	مجموعات لبلورات لوحية بريق لؤلؤي على الاوجه المنفصمة . ثقيل .	باريت $BaSO_4$ المعيني القائم
		٣—٣٫٥	٣٫٩٥ الى ٣٫٩٧	شديد الشبه بالباريت ، لكن وزنه النوعي أقل . يلون اللهب بلون أحمـــر .	سلستيت $SrSO_4$ المعيني القائم
		٣	٦٫٢ الى ٦٫٤	بريق الماسي . كتلي أو بلورات دقيقة . تفرق الكتل عن سيروسيت باختبار	أنجليزيت $PbSO_4$ المعيني القائم

٢ — الانفصام غير ظاهر

أ — تنصهر شظية صغيرة من المعـــدن في لهب الشمعة

اللون	ص	و	ملاحظـــــات	الاسم ، الفصيلة
عديم اللون أو أبيض	٢—٢٫٥	١٫٧ ±	يذوب في الماء . قشور أو بلورات منشورية . يوجد في المناطق الجافة . ينتفخ ثم ينصهر في لهب الشمعة . مذاق قلوي حلو .	بوراكس $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ الميل الواحد
	٢—٢٫٥	٦٫٥٥	بريق الماسي . كتل حبيبية أو لوحية . يصاحب جالينا . يتفاعل مع حامض النيتريك البارد . يختزل في لهب الشمعة لكرة رصاص .	سيروسيت $PbCO_3$ المعيني القائم

البريق : لا فلزى

(٢) المخدش عديم اللـــون

(ب) الصلادة > ٥ر٢ ، < ٥ر٣ (لا يخدش بالظفر ولكن يخدش بقرش أحمر)

٢ــ الانفصام غير ظاهر

ب ــ لا ينصهر فى لهيب الشمعة

اللون	ص	و	ملاحظـــــات	الاسم ، الفصيلة
عديم اللون ، أو أبيض .	٥ر٣	٣ر٤	كتل بلورات شـــعاعية . يتفاعل مع الحامض البارد .	ويذيريت $BaCO_3$ المعينى القائم
	٢ــ ٥ر٢	٦ر٢ إلى ٦٣ر٢	كتل ترابية متماسكة . يعطى رائحة الطين بالتنفس فيه .	كاولينيت $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$ الميل الواحد
عديم اللـــون ، أبيض ، أزرق ، رمادى ، أحمر .	٣ــ ٥ر٣	٨٩ر٢ إلى ٩٨ر٢	كتل دقيقة الحبيبات ، لا يرى بها إنفصام ، يفرق فقط بالاختبار الكيميائى .	أنهيدريت $CaSO_4$ المعينى القائم
أصفر ، بنى ، رمـادى ، أبيض .	١ــ ٣	٠ر٢ إلى ٥٥ر٢	باصلائى . حبيبات مستديرة أو كتل ترابية . عادة غير نقى .	بوكسيت مخلوط من معادن الالومنيوم المائية
أصفر ، أخضر ، أبيض ، بنى .	٥ر٣ــ ٤	٣٣ر٢	مجموعات نصف كروية ذات بلورات شعاعية . الانفصام يندر رؤيته .	وافيلليت $Al_3(OH)_3(PO_4)_2 5H_2O$ المعينى القائم
أخضر زيتونى ، أو أخـــــضر داكن .	٢ــ ٥	٢ر٢	كتلى . أليافى فى نوع الاسبستوس والكريزوتيل . الانواع الكتلية مبقعة ببقع خضـــراء .	سربنتين $Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$ الميل الواحد

البريق : لا فلزى

(٢) المخدش عديم اللـــون

(حـ) الصلادة > ٥ر٣ ، < ٥ر٥ (لا يخدش بقرش أحمر ولكن يخدش بالسكين)

١ـ انفصام ظاهر

الانفصام		اللون	ص	و	ملاحظـــــات	الاسم ، الفصيلة
إتجاه واحد	{٠٠١}	أزرق ، رمادى أو أخـــضر .	٥ـ٧	٥٦ر٣ إلى ٦٦ر٣	مجموعات بلورات نصلية . يخدش بالسكين فى طول البلورة ولكن ليس عموديا على الطول .	كيانيت Al_2SiO_5 الميول الثلاثة
	{٠١٠}	أبيض ، أصـــفر ، بنى .	٥ر٣ـ٤	١ر٢ إلى ٢ر٢	مجموعات البلورات فى هيئة حزم قد تكون البلورات لوحية .	ستلبيت $Ca(Al_2Si_7O_{18})\cdot 7H_2O$ الميل الواحد
	{٠١٠}	عديم اللون أبيض .	٥ر٣	٣ر٤	مجموعات بلورات شعاعية أو حبيبية . يتفاعل مع الحامض البارد .	ويذيريت $BaCO_3$ المعينى القائم
	{٠١٠} {٠١١} ضعيف	عديم اللون أبيض .	٥ر٣ـ٤	٩٥ر٢	يتفاعل مع الحامض البارد . يتفتت الى مسحوق فى لهب الشمعة . الانفصام غير واضح .	أراجونيت $CaCO_3$ المعينى القائم
اتجاهين	{٠١١}	عديم اللون أبيض .	٥ـ٥ر٥	٢٥ر٢	بلورات منشورية رفيعة . مجموعات شعاعية . يوجد مبطنا الفجوات فى الصخور النارية .	نطروليت $Na_2Al_2Si_3O_{10}\cdot 2H_2O$ الميل الواحد
	{٠١١}	عديم اللون أبيض .	٥ر٣ـ٤	٧ر٣	بلورات منشورية . توائم سداسية كاذبة . أليافى ، كتلى . يتفاعل مع الحامض البارد .	سترونشيانيت $SrCO_3$ المعينى القائم
	{٠١١} ٥٦° ، ١٢٤°	أبيض ، أسود مائل للخضرة .	٥ـ٦	٠ر٣ الى ٢ر٣	بلورات ابرية ، رفيعة . زاوية الانفصام مميزة .	معادن أمفيبول

البريق : لا فلزى

(٢) المخدش عديم اللون

(هـ) الصلادة > ٢ر٥ ، < ٥ر٥ (لا يخدش بقرش أحمر ولكن يخدش بالسكين)

(تابع ١) انفصام ظاهر

الانفصام		اللون	ص	و	ملاحظات	الاسم والفصيلة
اتجاهين	زاوية منشورية ٩٠° تقريبا	أبيض أخضر أسود	٥-٦	٣ر١ إلى ٣ر٥	منشورات قصيرة وسميكة • كتل حبيبية • زوايا الانفصام القائمة مميزة •	معادن البيروكسين
		أحمر وردى	٥ر٥-٦	٣ر٥٨ إلى ٣ر٧٠	اللون مميز • كتل متماسكة أو متماسكة •	رودونيت $MnSiO_3$ الميول الثلاثة
٣ اتجاهات	٣ اتجاهات زوايا غير قائمة {١١̄٠١}	عديم اللون أبيض ، ملون	٣	٢ر٧٢	يتفاعل مع الحامض البارد • كتل الحجر الجيرى والرخام • انكسار مزدوج فى الانواع الشفافة •	كالسيت $CaCO_3$ الثلاثى
		عديم اللون أبيض ، وردى	٣ر٥-٤	٢ر٨٥	بلورات معينية الاوجه منحنية ذات بريق لؤلؤى • كتل الحجر الجيرى الدولوميتى والرخام •	دولوميت $CaMg(CO_3)_2$ الثلاثى
		أبيض أصفر رمادى	٣ر٥-٥	٣ر٠ إلى ٣ر٢	كتل متماسكة • يتفاعل مع الحامض الساخن •	ماجنيزيت $MgCO_3$ الثلاثى
		بنى فاتح أو داكن	٣ر٥-٤	٣ر٨٣ إلى ٣ر٨٨	كتل منفصمة • يصبح مغناطيسيا بالتسخين فى لهب الشمعة •	سيدريت $FeCO_3$ الثلاثى
		أحمر وردى	٣ر٥ - ٤ر٥	٣ر٤٥ إلى ٣ر٦	اللون مميز • يتفاعل مع الحامض الساخن (رودونيت لا يتفاعل) •	رودوكروزيت $MnCO_3$ الثلاثى

البريق : لا فلزى

(٢) المخدش عديم اللون

(حـ) الصلادة > ٣,٥ ، < ٥,٥ (لا يخدش زجاجاً ولكن يخدش بالسكين)

(تابع ١) انفصام ظاهر

الانفصام		اللون	ص	و	الملاحظات	الاسم ، الفصيلة
اتجاهين	{١١٠}	بني ، رمادي ، أخضر	٥-٥,٥	٣,٤ إلى ٣,٥٥	البريق الماسي أو راتنجي . بلورات وتدية . الانفصام المنشوري غير واضح .	سفين $CaTiSiO_5$ الميل الواحد
	معيني الاوجه {١٠-١٢}	بني ، أخضر ، أزرق .	٥	٤,٣٥ إلى ٤,٤٠	كتل مستديرة عنقودية أو في شكل خلايا النحل . يتفاعل مع الحامض البارد .	سميثسونيت $ZnCO_3$ الثلاثي
٣ اتجاهات	{١٠٠} {٠١٠} {٠٠١}	عديم اللون، أبيض ، رمادي .	٣-٣,٥	٢,٨٩ إلى ٢,٩٨	كتل دقيقة الحبيبات ، لا يرى انفصام ، ويميز بالاختبارات الكيميائية .	أنهيدريت $CaSO_4$ المعيني القائم
	{١٠٠} متعامد على {٠١١}	عديم اللون أبيض ، أزرق .	٣-٣,٥	٤,٥	مجموعات بلورات لوحية . بريق لؤلؤي على أسطح الانفصام ثقيل	باريت $BaSO_4$ المعيني القائم
		عديم اللون أبيض ، أزرق .	٣-٣,٥	٣,٩٥ إلى ٣,٩٧	يشبه الباريت الا أنه أخف . يلون اللهب بلون قرمزي .	سيلستيت $SrSO_4$ المعيني القائم
٤ اتجاهات	{١١١} ثماني الاوجه	عديم اللون بنفسجي ، أخضر ، الخ.	٤	٣,١٨	بلورات مكعبية . توائم متداخلة . الانفصام مميز	فلوريت CaF_2 المكعب
٦ اتجاهات	{١١٠} الثناعشر وجهاً	بني أصفر ، بني أسود .	٣,٥-٤	٣,٩ إلى ٤,١	البريق راتنجي . كتل منفصمة . الكتل صعبة التعرف عليها .	سفاليريت ZnS المكعب

البريق : لا فلزى

(٢) المخدش عديم اللون

(ح) الصلادة > ٥ر٣ ، < ٥ر٥ (لا يخدش بقرش أحمر ولكن يخدش بالسكين)

٢ — إنفصام غير ظاهر

اللون	ص	و	ملاحظات	الاسم ، الفصيلة
أبيض ، أخضر باهت ، أزرق .	٤ر٥ــ٥	٣ر٤ إلى ٣ر٥	مجموعات بلورات شعاعية . كذلك استلاكتيتية ، كروية . الانفصام المنشوري غير واضح .	هيميمورفيت $Zn_4(Si_2O_7)(OH)_2 \cdot H_2O$ المعينى القائم
	٣ر٥ــ٤	٢ر٩٥	يتفاعل مع الحامض البارد . يتفتت الى مسحوق فى لهب الشمعة . الانفصام غير واضح .	أراجونيت $CaCO_3$ المعينى القائم
	٣ر٥ــ٤	٣ر٧	بلورات منشورية . توائم سداسية كاذبة . اليافى ، كتلى . يتفاعل مع الحامض البارد .	سترونشيانيت $SrCO_3$ المعينى القائم
عديم اللون ، أبيض	٣ر٥ــ٤	٣ر٠ إلى ٣ر٢	كتل متماسكة . يتفاعل مع الحامض الساخن	ماجنزيت $MgCO_3$ الثلاثى
	٣ر٥	٤ر٣	كتل بلورات شعاعية . يتفاعل مع الحامض البارد . يلون اللهب بلون أخضر مصفر .	ويذيريت $BaCO_3$ المعينى القائم
عديم اللون ، أبيض ، متغير .	٥ــ٦	١ر٩ إلى ٢ر٢٠	مكسر محارى . النوع الثمين يبدى لألأة . الوزن النوعى والصلادة أقل من الكوارتز دقيق الحبيبات .	أوبال $SiO_2 \cdot nH_2O$ غير متبلور
بنى ، أخضر ، أبيض ، الخ .	٥	٤ر٣٥ إلى ٤ر٤٠	كتل مستديرة عنقودية أو فى شكل خلايا النحل . يتفاعل مع الحامض البارد	سميثسونيت $ZnCO_3$ الثلاثى

البريق : لا فلزى

(٢) المخدش عديم اللون

(حـ) الصلادة > ٢,٥ ، < ٥,٥ (لا يخدش بقرش أحمر ولكن يخدش بالسكين)

(تابع ٢) إنفصــام غير ظــاهر

اللون	ص	و	ملاحظـــات	الإسم ، الفصيلة
بنى ، رمادى ، أخضر .	٥—٥,٥	٣,٤ إلى ٣,٥٥	بريق الماسى أو راتنجى . بلورات وتدية . الانفصام المنشورى غير واضح .	سفين $CaTiSiO_5$ الميل الواحد
عديم اللون ، أبيض ، ملون .	٣	٢,٧٢	يتفاعل مع الحامض البارد . كتل حبيبية أو ليفية . حجر جيرى ، أونيكس (مموج) .	كالسيت $CaCO_3$ الثلاثى
بنى فاتح أو داكن .	٣,٥—٤	٣,٨٣ إلى ٣,٨٨	بلورات . كتل درنية متماسكة فى الطين أو الطفل . يصبح مغناطيسيا بالتسخين فى لهب الشمعة .	سيدريت $FeCO_3$ الثلاثى
أبيض ، أصفر ، بنى .	٣—٥	٢,١ إلى ٢,٩	المكون الرئيسى لصخر الفوسفات . صعب التعرف عليه بدون الاختبار الكيميائى . كتل .	كوللوفين $Ca_3(PO_4)_2 \cdot H_2O$ غير متبلور
أصفر ، بنى ، رمادى ، أبيض .	١—٣	٢,٠ إلى ٢,٥٥	باصلائى . حبيبات مستديرة أو كتل ترابية . عادة غير نقى .	بوكسيت مخلوط سليكات الالومنيوم المائية
أخضر ، أزرق ، بنفسجى ، الخ .	٥	٣,١٥ إلى ٣,٢٠	بلورات منشورية سداسية بها أهرامات . كتل . الانفصام القاعدى ضعيف .	أباتيت $Ca_5(F,Cl,OH)(PO_4)_3$ السداسى
أخضر زيتونى ، أو أخضر داكن .	٢—٥	٢,٢	كتلى . أليافى فى نوع الاسبستوس والكريزوتيل . الأنواع الكتلية مبقعة ببقع خضراء .	سربنتين $Mg_6(Si_4O_{10})(OH)_8$ الميل الواحد

البريق : لا فلزى

(٢) الخدش عديم اللـــون

ه ـ الصلادة > ٥ر٥ ، < ٧ (لا يخدش بالسكين
ولكن يخدش بالكوارتز)

١ ـ الانفصام ظـــاهر

الانفصام		اللون	ص	و	ملاحظـــات	الاسم ، الفصيلة
	{٠١٠} كامل	بنى ، أخضر رمادى	٦ ـ ٧	٣ر٢٣	بلورات طويلة رفيعة • مجموعات بلورات متوازية موجود فى الشست والنيس •	سيليمنيت Al_2SiO_5 المعينى القائم
اتجاه واحد	{١٠٠}	أخضر أصفر أو أسود	٦ ـ ٧	٣ر٣٥ إلى ٣ر٤٥	بلورات منشورية مخططة طوليا • يوجد فى الصخور المتحولة •	ابيدوت الميل الواحد
	{٠٠١}	أزرق ، رمادى أخضر	٥ ـ ٧	٣ر٥٦ إلى ٣ر٦٦	مجموعات بلورات نصلية يخدش بالسكين فى طول البلورة • ولكن لا يخدش بالعرض	كيانيت Al_2SiO_5 الميول الثلاثة
	{١٠٠} {٠١٠}	عديم اللون أبيض أحمر أخضر رمادى	٦	٢ر٥٤ إلى ٢ر٥٦	كتل منفصمة أو حبيبات غير منتظمة مكونة للصخور البلورات فى البجماتيت • النوع الاخضر أمازون ستون	أرثوكليز الميل الواحد ميكروكلين الميول الثلاثة $KAlSi_3O_8$
اتجاهين متعامدين تقريبا	{١٠٠} {٠١٠}	أبيض ، رمادى عديم اللون	٦	٢ر٦٢ إلى ٢ر٧٦	كتل منفصمة أو حبيبات غير منتظمة مكونة للصخور تخطيط على الاوجه (توائم)	بلاجيوكليز $NaAlSi_3O_8$ - $CaAl_2Si_2O_8$ الميول الثلاثة
	{٠١١}	أبيض أخضر وردى	٦ر٥ ـ ٧	٣ر١٥ إلى ٣ر٢٠	بلورات منشورية مبططة • كتل منفصمة • الانفصال {٠٠١} موجود •	سبودومين $(LiAl, Si_2O_6)$ الميل الواحد

البريق : لا فلزى

(٢) المخدش عديم اللـــون

د — الصلادة > ٥ر٥ ، <٧ (لا يخدش بالسكين

ولكن يخدش بالكوارتز)

(تابع ١) الانفصام ظـــاهر

الانفصام	.	اللون	ص	و	ملاحظـــــات	الاسم ، الفصيلة
اتجاهين	{١١٠} ٩٠° تقريبا	أبيض ، أخضر ، أسود .	٥—٦	١ر٣ إلى ٥ر٣	منشورات قصيرة وسميكة . كتل حبيبية . زوايا الانفصام القائمة مميزة .	معادن البيروكسين
	{١١٠} ٩٠° تقريبا	أحمر ، وردى .	٥ر٥—٦	٥٨٠ر٣ إلى ٧٠ر٣	اللون مميز . كتل منفصمة أو متماسكة . لا يتفاعل مع حامض HCl .	رودونيت $Mn(SiO_3)$ البيول الثلاثة
	{١١٠} ٥٦° ١٢٤°	أبيض ، أسود مائل للخضرة .	٥—٦	٠ر٣ إلى ٣ر٣	بلورات ابرية ، رفيعة . زوايا الانفصام مميزة .	معادن الأمفيبول

د — الصلادة > ٥ر٥ ، <٧

٢— الانفصام غير ظاهر

اللون	ص	و	ملاحظـــــات	الاسم ، الفصيلة
عديم اللون ، أبيض ، متغير .	٥—٦	٩ر١ إلى ٢ر٢	مكسر محارى . النوع الثمين يبدى لألأة . الوزن النوعى والصلادة أقل من الكوارتز دقيق الحبيبات .	أوبال $SiO_2.nH_2O$ غير متبلور
رمادى ، أبيض ، عديم اللون .	٥ر٥—٦	٤٥ر٢ إلى ٥٠ر٢	بلورات شبه منحرف الاوجه ، موجود فى صخر نارى داكن اللون (لا يبطن الفجوات) .	لوسيت $K(AlSi_2O_6)$ المكعب
عديم اللون ، متغير .	٧	٦٥ر٢	البلورات مخططة بالعرض على أوجه المنشور . يتميز بالصلادة وعدم تفاعله مع الاحماض .	كوارتز SiO_2 الثلاثى

البريق : لا فلزى

(٢) المخدش عديم اللــــون

د ـ الصلادة > ٥ر٥ ، < ٧ (لا يخدش بالسكين

ولكن يخدش بالكوارتز)

(تابع ٢) الانفصام غير ظـــاهر

اللون	ص	د	ملاحظـــــــات	الاسم ، الفصيلة
عديم اللون ، رمادى .	٥ر٥ـ٦	٢ر٥٥ إلى ٢ر٦٥	بريق شحمى . كتلى فى الصخور . المنشورات السداسية نادرة . إنفصام منشورى ضعيف .	نيفلين $Na(AlSiO_4)$ السداسى
بنى باهت ، أصفر ، أحمر .	٧	٢ر٦٥	بريق شمعى أو مطفى . عادة غروى . قد يكون مصففا أو مبطنا فجوات .	كالسيدونى SiO_2 خفى التبلور
أخضر ، زيتونى ، أو بنى .	٦ر٥ـ٧	٣ر٢٧ إلى ٣ر٢٧	عادة فى حبيبات منتشرة فى الصخور القاعدية . قد يكون فى كتل حبيبية . البريق زجاجى	أوليفين $(Mg,Fe)_2SiO_4$ المعينى القائم
أسود ، أحمر ، متغير .	٧ـ٧ر٥	٣ر٠ إلى ٣ر٢٥	بلورات منشورية رفيعة ، مقطعها مثلثى الشكل . مجموعات شعاعية . اللون الأسود شائع . بريق زجاجى .	تورمالين الثلاثى
بنى أحمر ، أحمر ، أخضر .	٧ر٥	٣ر١٦ إلى ٣ر٢٠	بلورات منشورية ، مقطعها مربع الشكل . يتحلل الى ميكا . يوجد فى الشست .	أندلوسيت Al_2SiO_5 المعينى القائم
بنى أو أسود .	٦ـ٧	٦ر٨ إلى ٧ر١	بلورات منشورية ، ألماسية ، مخططة . توائم شائعة . يوجد فى رمال التجمعات . ثقيل .	كاسيتريت SnO_2 الرباعى
بنى أحمر ، أو أسود .	٦ـ٥ر٦	٤ر١٨ إلى ٤ر٢٥	بلورات منشورية مخططة طوليا . كتلى أو بلورات إبرية منتشرة فى الصخر . يوجد فى الرمال السوداء .	روتيل TiO_2 الرباعى

البريق : لا فلزى

(٢) المخدش عديم اللـــون

هـ. الصلادة > ٧ (لا تخدشها الكوارتـــز)

١ـ الانفصام ظـاهر

الانفصام	اللون	ص	و	ملاحظـــات	الاسم ، الفصيلة
تجاه ينحد {٠٠١}	عديم اللون ، أصفر ، وردى .	٨	٣ر٤ إلى ٣ر٦	بلورات ، حبيبات دقيقة أو خشنة ، بريق زجاجى .	توباز $Al_2(SiO_4)(F,OH)_2$ المعينى القائم
أربعة اتجاهات {١١١} .	عديم اللون ، أصفر ، أزرق .	١٠	٣ر٥	بريق الماسى ، بلورات ثمانية الأوجه ، الأوجه قد تكون منحنية .	الماس C المكعب
انفصال معينى الأوجه وقاعدى وليس انفصام ؛	عديم اللون رمادى ، أزرق .	٩	٣ر٩٥ إلى ٤ر١	بريق الماسى أو زجاجى ، قطع الانفصال قد تبدو مكعبة تقريبا .	كوارندم Al_2O_3 الثلاثى

٢ـ الانفصام غير ظاهر

اللون	ص	و	ملاحظـــات	الاسم ، الفصيلة
عديم اللون ، متغير .	٧	٢ر٦٥	بلورات مخططة بالعرض ، بريق زجاجى . لا يتأثر بالحامض .	كوارتز SiO_2 الثلاثى
عديم اللون ، رمادى ، أزرق .	٩	٣ر٩٥ إلى ٤ر١	بريق الماسى أو زجاجى . قطع الانفصال قد تبـــدو مكعبة تقريبا .	كوارندم Al_2O_3 الثلاثى
أحمر ، أسـود ، لاوند .	٨	٣ر٦ الى ٤ر٠	بلورات ثمانية الاوجه ، توائم شائعة ، يوجد فى الحجر الجيرى المتبلور	سبينل $MgAl_2O_4$ المكعب

البريق : لا فلزى

(٢) المخدش عديم اللون

هـ · الصلادة > ٧ (لا تخدش بالكوارتز)

٢ ــ الانفصام غير ظاهر

اللون	ص	و	ملاحظات	الاسم ،الفصيلة
أخضر ، زمردى ، متغير ·	٧ر٥ـ٨	٢ر٧٥ إلى ٢ر٨	منشورات سداسية منتهية بالقاعدة · البريق زجاجى · اللون والصلادة مميزان ·	بريل $Be_3Al_2(Si_6O_{18})$ السداسى
أخضر ، أسود ، متغير ·	٧ر٥ـ٨	٣ر٠ إلى ٣ر٢٥	بلورات منشورية رفيعة ،مقطعها مثلثى الشكل · مجموعات شعاعية اللون الاسود شائع بريق زجاجى ·	تورمالين الثلاثى
بنى أحمر ، أحمر ، أخضر ·	٧ر٥	٣ر١٦ إلى ٣ر٢٠	بلورات منشورية ،مقطعها مربع الشكل · يتحلل الى الميكا · يوجد فى الشست ·	أندلوسيت Al_2SiO_5 المعينى القائم
بنى أحمر ، أو بنى ، أسود ·	٧ـ٧ر٥	٣ر٦٥ إلى ٣ر٧٥	بلورات منشورية · توائم متصالبة · متحللة على السطح · يوجد فى الشست ·	ستوروليت $Fe_2Al_9O_7(SiO_4)_4(OH)$ المعينى القائم
بنى ،أحمر ، رمادى ، أخضر ·	٧ر٥	٤ر٦٨	بلورات منشورية صغيرة منتهية بأهرامات· معدن إضافى فى الصخور النارية وحبيبات فى الرمال ·	زركون $ZrSiO_4$ الرباعى
بنى ، أو أحمر ·	٦ر٥ـ ٧ر٥	٣ر٥ إلى ٤ر٣	بلورات اثنا عشر وجها واربعة وعشرون وجها منحرفا · يوجد فى الصخور النارية والمتحولة والرمال ·	جارنت $A_3B_2(SiO_4)_3$ المكعب

مراجع

CRYSTALLOGRAPHY — البلورات

Bragg, W. L. : Atomic Structure of Minerals.
Cornell Univ. Press, Ithaca, 1937.

Bunn, C. W. Chemical Crystallography.
Clarendon Press, Oxford, 1966.

Evans, R. C. : An Introduction to Crystal Chemistry.
The University Press, Oxford, 1966.

Mason, B. : Principles of Geochemistry. 2nd Ed.
John Wiley and Sons, N. Y., 1958.

Pauling, L. The Nature of the Chemical Bond. 3rd Ed.
Cornell Univ. Press, Ithaca, 1960.

Phillips, F. C. : An Introduction to Crystallography. 4th Ed.
Oliver and Boyd, Edinburgh. 1971.

MINERALOGY — المعادن

Bateman, A. M. : Economic Mineral Deposits. 2nd Ed.
John Wiley and Sons, N. Y., 1950.

Bateman, A. M. : The Formation of Mineral Deposits.
John Wiley and Sons, N. Y., 1951.

Bates, R. L. : Geology of the Industrial Minerals and Rocks.
Harper and Row, N. Y., 1960.

Berry, L. G., and Mason, B. : Mineralogy.
Freeman and Co., San Francisco, 1959.

Deer, Howie, and Zussman : An Introduction to the Rock—Forming Minerals. John Wiley and Sons, N. Y., 1966.

Ford, W. E : Dana's Text Book of Mineralogy. 4th Ed.
John Wiley and Sons, N. Y., 1932.

Hurlbut, C. S. : Dana's Manual of Mineralogy. 18th Ed.
John Wiley and Sons, N. Y, 1971.

Kraus, Hunt, and Ramsdell : Mineralogy. 5th Ed.
KcGraw Hill Book Co., N. Y, 1959.

Kraus, and Slawson : Gems and Gem Materials, 5th Ed.
McGraw Hill Book Co , N. Y., 1951.

Lindgren, W. : Mineral Deposits. 2nd Ed.
McGraw Hill Book Co., N Y., 1933.

Palache, Berman, and Frondel : Dana's System of Mineralogy. vols. I, and II, 7th Ed. John Wiley and Sons, N. Y. 1944, 1951.

PETROLOGY الصخور

Harker, A. : Metamorphism 2nd Ed
Methuen, London, 1933.

Pettijohn, F.J. : Sedimentary Rocks. 2nd Ed.
Harper, N. Y., 1957.

Pirsson, I. V. and A. Knopf. : Rocks and Rock Minerals. 3rd Ed. John Wiley and Sons, N. Y., 1947.

دليل المعادن

— ا —

— ب —

— ت —

— ز —

— س —

— ش —

— ص —

— ف —

— ك —

— ل —

— م —

— ن —

— ه —

— و —

— ی —

